Salubrité urbaine distributions d'eau assainissement / par G. Bechmann.

Contributors

Bechmann, Georges, 1848-1927.
London School of Hygiene & Tropical Medicine Library & Archives Service
London School of Hygiene and Tropical Medicine

Publication/Creation

Paris : Baudry, 1888.

Persistent URL

https://wellcomecollection.org/works/scypenu9

Provider

London School of Hygiene and Tropical Medicine

License and attribution

This material has been provided by This material has been provided by London School of Hygiene & Tropical Medicine Library & Archives Service. The original may be consulted at London School of Hygiene & Tropical Medicine Library & Archives Service. where the originals may be consulted. This work has been identified as being free of known restrictions under copyright law, including all related and neighbouring rights and is being made available under the Creative Commons, Public Domain Mark.

You can copy, modify, distribute and perform the work, even for commercial purposes, without asking permission.

wellcome collection

Wellcome Collection
183 Euston Road
London NW1 2BE UK
T +44 (0)20 7611 8722
E library@wellcomecollection.org
https://wellcomecollection.org

b·SE

Presented to the Library

BY

Lady Shirley Murphy

Date August 26th 1929

Class Mark b·SE Accession No. 9306

London School of Hygiene & Tropical Medicine
8 NOV. 1929

à Monsieur le Docteur Shirley Murphy
Medical officer of health of the County
Council of London
Souvenir de l'auteur
G. Rechniewski

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

DISTRIBUTIONS D'EAU

ASSAINISSEMENT

Tous les exemplaires du Traité des *Distributions d'eau* devront être revêtus de la signature de M. G. Bechmann.

G. Bechmann

LONDON SCHOOL OF HYGIENE
AND
TROPICAL MEDICINE
LIBRARY

ENCYCLOPÉDIE

DES

TRAVAUX PUBLICS

Fondée par **M.-C. LECHALAS**, Inspr génal des Ponts et Chaussées

---

SALUBRITÉ URBAINE

DISTRIBUTIONS D'EAU

ASSAINISSEMENT

PAR

G. BECHMANN

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES
CHARGÉ DU SERVICE MUNICIPAL DES EAUX DE PARIS

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE
BAUDRY ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

1888

TOUS DROITS RÉSERVÉS

LONDON SCHOOL OF HYGIENE
AND
TROPICAL MEDICINE
LIBRARY

9306

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

GÉNÉRALITÉS SUR LA SALUBRITÉ URBAINE

CHAPITRE PREMIER

Salubrité urbaine.

§ 1er. — Conditions artificielles de la vie dans les agglomérations urbaines. 3
§ 2. — Hygiène des villes..... 7
§ 3. — Maintien de la pureté de l'air..... 9
§ 4. — Assainissement du sol..... 12
§ 5. — Importance capitale de l'eau..... 16

CHAPITRE DEUXIÈME

L'eau dans les villes.

§ 1er. — Nécessité d'une circulation continue de l'eau dans l'intérieur des villes..... 19
§ 2. — Eau utile. Alimentation..... 21
§ 3. — Eaux nuisibles. Assainissement..... 25

CHAPITRE TROISIÈME

Aperçu historique.

§ 1er. — Monde ancien..... 28
§ 2. — Grèce antique..... 32
§ 3. — Époque romaine..... 34
§ 4. — Moyen âge..... 39
§ 5. — Temps modernes..... 41
§ 6. — Époque actuelle..... 44

DISTRIBUTIONS D'EAU

CHAPITRE QUATRIÈME

Les besoins.

§ 1er. — Quantité d'eau nécessaire pour l'alimentation des villes..... 51
§ 2. — Qualités de l'eau destinée à l'alimentation des villes..... 63

CHAPITRE CINQUIÈME

Les ressources.

§ 1er. — Généralités..... 72
§ 2. — La pluie..... 75
§ 3. — Les eaux superficielles..... 81
§ 4. — Les eaux souterraines..... 90

CHAPITRE SIXIÈME

Recherche, examen et choix des eaux destinées à l'alimentation.

§ 1er. — Étude des ressources d'une région..... 103
§ 2. — Détermination des quantités d'eau disponibles..... 107
§ 3. — Examen qualitatif des eaux :
a. Examen préliminaire..... 112
b. Analyse chimique..... 115
c. Méthodes rapides..... 121
d. Examen micrographique..... 123
e. Résultats de l'examen qualitatif de diverses eaux..... 126
§ 4. — Du choix à faire entre diverses eaux pour l'alimentation d'une ville..... 131

CHAPITRE SEPTIÈME

Modes de captation et de puisage.

§ 1er. — Utilisation de l'eau de pluie..... 137
§ 2. — Emploi des eaux de superficie :
a. Eaux courantes..... 140
b. Eaux dormantes..... 146
§ 3. — Emploi des eaux souterraines :
a. Première nappe ou nappe des puits..... 152
b. Nappes inférieures..... 159
c. Nappes artésiennes..... 161
d. Sources..... 166

CHAPITRE HUITIÈME

Procédés employés pour l'amélioration des eaux naturelles.

§ 1er. — Considérations générales 171
§ 2. — Décantation ou clarification par le repos 175
§ 3. — Filtration artificielle des grandes masses d'eau 177
§ 4. — Filtration industrielle et domestique 182

CHAPITRE NEUVIÈME

Amenée de l'eau par la gravité.

§ 1er. — Généralités 187
§ 2. — Aqueducs découverts 192
§ 3. — Aqueducs couverts 195
§ 4. — Conduites forcées 202
§ 5. — Traversée des vallées 204
§ 6. — Souterrains 216
§ 7. — Ouvrages accessoires 218

CHAPITRE DIXIÈME

Élévation mécanique de l'eau.

§ 1er. — Appareils employés pour l'élévation de l'eau 222
§ 2. — Pompes 228
§ 3. — Aspiration 244
§ 4. — Refoulement 247
§ 5. — Choix du moteur 252
§ 6. — Machines élévatoires 258
§ 7. — Installation, entretien, exploitation des machines élévatoires 263

CHAPITRE ONZIÈME

Réservoirs.

§ 1er. — Considérations générales 274
§ 2. — Réservoirs en déblai 280
§ 3. — Réservoirs en élévation 284
§ 4. — Mode de construction des réservoirs :
a. Réservoirs en maçonnerie 287
b. Réservoirs métalliques 291
§ 5. — Couverture des réservoirs 293
§ 6. — Appareils accessoires 297

CHAPITRE DOUZIÈME

Distribution générale.

§ 1er.— Divers modes de distribution de l'eau..... 306
§ 2. — Tracé de la canalisation..... 313
§ 3. — Tuyaux de conduite..... 319
§ 4. — Pose des conduites..... 340
§ 5. — Appareils accessoires des canalisations d'eau..... 353
§ 6. — Entretien des canalisations d'eau..... 367
§ 7. — Exploitation des services d'eau..... 373

CHAPITRE TREIZIÈME

Service public. — L'eau sur la voie publique et dans les promenades.

§ 1er.— Généralités..... 382
§ 2. — Appareils de puisage..... 386
§ 3. — Appareils de lavage..... 391
§ 4. — Appareils d'arrosage..... 395
§ 5. — Appareils de secours d'incendie..... 398
§ 6. — Fontaines décoratives et pièces d'eau..... 401

CHAPITRE QUATORZIÈME

Vente et livraison de l'eau.

§ 1er.— Vente de l'eau..... 413
§ 2. — Tarification..... 421
§ 3. — Divers modes de livraison de l'eau..... 426
§ 4. — Abonnements jaugés..... 430
§ 5. — Abonnements à robinet libre..... 435
§ 6. — Abonnements au compteur..... 439
§ 7. — Réglementation..... 449

CHAPITRE QUINZIÈME

Service privé. — L'eau dans la maison.

§ 1er.— Distribution intérieure..... 456
§ 2. — Appareils de puisage..... 462
§ 3. — Appareils pour services spéciaux..... 465
§ 4. — Lavoirs et bains publics..... 475
§ 5. — Production de force motrice..... 477

CHAPITRE SEIZIÈME

Questions légales et administratives.

§ 1er. — Propriété des eaux..... 481
§ 2. — Emploi des eaux pour l'alimentation des villes..... 486
§ 3. — Passage des aqueducs et des conduites d'eau..... 490
§ 4. — Traités de concession et polices d'abonnement..... 492
§ 5. — Instruction des projets de distribution d'eau..... 495

CHAPITRE DIX-SEPTIÈME

Exemples de distributions d'eau.

§ 1er. — Statistique des distributions d'eau..... 498
§ 2. — Les eaux de Paris..... 501
§ 3. — Grands services d'eau à l'étranger..... 513
§ 4. — Distributions d'eau dans quelques villes françaises..... 523
§ 5. — Distributions d'eau dans quelques villes à l'étranger..... 530

APPENDICE

NOTIONS SUR L'ASSAINISSEMENT DES VILLES

CHAPITRE DIX-HUITIÈME

Évacuation des eaux nuisibles.

§ 1er. — Généralités..... 541
§ 2. — Évacuation des eaux pluviales..... 544
§ 3. — Évacuation des eaux ménagères et industrielles..... 549
§ 4. — Évacuation des eaux-vannes et des matières de vidange..... 555

CHAPITRE DIX-NEUVIÈME

Égouts.

§ 1er. — Différents systèmes d'égouts..... 561
§ 2. — Réseaux d'égouts..... 565
§ 3. — Sections des égouts de divers types..... 570
§ 4. — Curage et ventilation des égouts..... 574
§ 5. — Ouvrages accessoires..... 580

CHAPITRE VINGTIÈME

Épuration des eaux d'égout.

§ 1er. — Altération de l'eau des rivières..... 584
§ 2. — Divers modes d'épuration des eaux d'égout..... 588
§ 3. — Utilisation des eaux d'égout..... 592

ANNEXES

I. — Écoulement de l'eau dans les canaux découverts. Valeurs de $\frac{RI}{U^2}$. 597
II. — Écoulement de l'eau dans les tuyaux. Table d'après la formule de Prony..... 601
III. — Écoulement de l'eau dans les tuyaux. Coefficient b_1 d'après Darcy et Bazin..... 607
IV. — Type de programme et cahier des charges pour la fourniture et l'installation de machines élévatoires par voie de concours... 608
V. — Eaux de Paris. Devis et cahier des charges pour la fourniture des tuyaux de fonte..... 616
VI. — Eaux de Paris. Formes et dimensions des tuyaux et raccords employés dans la canalisation..... 622
VII. — Eaux de Paris. Devis, cahier des charges et bordereau de prix de l'entretien de la fontainerie..... 631
VIII. — Eaux de Paris. Série complémentaire..... 676
IX. — — — Arrêté réglementaire sur les compteurs d'eau... 681
X. — — — Règlement sur les abonnements aux eaux..... 686

ERRATA

Pages :	*lignes :*	*au lieu de :*	*lire :*
3	14	Influence	Importance
23	36	à toute collectivité	à une collectivité
24	30	services	sources
51	6	diverses	diurnes
97	34	réseau	réservoir
148	22	Guentès	Puentès
149	31	2, 5	3, 5
215	fig. 111	du Gard	de Gênes
226	40	la fermeture	le mouvement inverse
228	1	dernière	deuxième
283	5	au-dessus	au-dessous
293	28	fig. 236	fig. 235
298	14	fig. 246	fig. 245
299	2, 12, 28	fig. 247, 248, 250	fig. 246, 247, 249
300	3, 23, 26, 29	fig. 251, 254, 255, 253	fig. 250, 253, 254, 252
385	17	au-dessus du niveau	au niveau
408	3	ajustages	ajutages
426	16	par le puisage	pour le puisage
518	44	Roselhugel	Rosenhügel
524	4	$3^{mc},75$	$5^{mc},75$
533	10	20,000	230,000
557	43, 44	sur la voie publique	sous la voie publique
579	12	respirent	aspirent
586	3	déversent	déversent dans la Seine

INTRODUCTION

GÉNÉRALITÉS

SUR LA

SALUBRITÉ URBAINE

CHAPITRE I. — *SALUBRITE URBAINE*
CHAPITRE II. — *L'EAU DANS LES VILLES*
CHAPITRE III. — *APERÇU HISTORIQUE*

CHAPITRE PREMIER

SALUBRITÉ URBAINE

Sommaire :

§ 1er. *Conditions artificielles de la vie dans les agglomérations urbaines.* — 1. Vie artificielle des villes. — 2. Contamination de l'air, du sol, des eaux souterraines et des rivières. — 3. Microbes. — 4. Transmission des maladies. Épidémies.

§ 2. *Hygiène des villes.* — 5. Mesures sanitaires. — 6. Importance de la salubrité. — 7. Effets obtenus. — 8. Principes généraux.

§ 3. *Maintien de la pureté de l'air.* — 9. Atmosphère des villes. — 10. Rôle des plantations dans les villes. — 11. Ventilation des édifices, aération des maisons.

§ 4. *Assainissement du sol.* — 12. — Conditions générales. — 13. Enlèvement des détritus solides. — 14. Relèvement du sol des voies publiques. — 15. Drainage des couches souterraines.

§ 5. *Influence capitale de l'eau.* — 16. Rôle multiple de l'eau comme élément de salubrité. — 17. Eaux nuisibles, évacuation rapide, épuration. — 18. Distributions d'eau, réseaux d'égouts.

§ 1er.

CONDITIONS ARTIFICIELLES DE LA VIE

DANS LES AGGLOMÉRATIONS URBAINES

1. Vie artificielle des villes. — Lorsque les hommes sont répartis par petits groupes sur de vastes espaces, la nature leur fournit presque toujours à profusion tous les éléments nécessaires à la santé : l'air qu'ils respirent est pur, l'eau qu'ils boivent ne contient point de substances malfaisantes, le sol qu'ils foulent se charge de transformer rapidement les matières organiques putrescibles dont les eaux courantes ne l'ont pas débarrassé.

Mais, à mesure que les groupes deviennent plus considérables et plus compactes, que la surface occupée par chacun d'eux augmente, et que, sur une même étendue de terrain, se trouvent réunis un plus grand nombre d'êtres humains, des causes de plus en plus graves d'insalubrité apparaissent, en face desquelles la nature ne tarde pas à se montrer impuissante. Il faut alors lui venir en aide par des moyens d'autant plus per-

fectionnés et plus complexes que les agglomérations sont plus denses et plus étendues.

De là une sorte de *vie artificielle* qui est la condition d'existence des habitants des villes en général, et sans laquelle surtout n'auraient pas pu se développer ces immenses capitales, dont l'accroissement rapide soulève chaque jour des problèmes plus ardus et appelle sans cesse de nouvelles études et de constants efforts.

2. Contamination de l'air, du sol, des eaux souterraines, des rivières. — La respiration d'un grand nombre de personnes réunies dans un espace limité détermine bientôt des changements fâcheux dans la composition de l'air : la proportion d'oxygène diminue, celle de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique augmente ; de plus, il s'y accumule une multitude de particules organiques dont la présence contribue à l'altération de l'atmosphère, et peut déterminer la production de miasmes, et, par suite, la propagation de certaines maladies. Il en résulte que l'air, ce fluide indispensable à la vie animale, ne présente bientôt plus les propriétés nécessaires pour l'alimenter, et tend à devenir, au contraire, un véritable poison. A cette première cause de viciation de l'air viennent s'en ajouter beaucoup d'autres dans les villes : combustion de matières solides ou gazeuses dans un nombre considérable de foyers de chaleur ou de lumière, fermentation des détritus animaux ou végétaux dans les cours, jardins, marchés ou dans les ruisseaux des voies publiques, émanations désagréables ou malsaines des fosses d'aisances, des hôpitaux, d'un grand nombre d'usines et d'établissements à juste titre qualifiés d'insalubres.

S'il n'était pas pris de précautions spéciales, le dépôt sur le sol des rues de matières organiques et de résidus de toute espèce ne tarderait pas à donner naissance à ces épaisses couches de boue qui couvraient les rues de Paris au moyen âge et dont Belgrand a retrouvé les traces et dessiné les contours [1]. L'écoulement des eaux ménagères, soit à ciel ouvert, soit dans des puisards, l'épandage des vidanges et des déjections de toute nature ou l'envoi de ces matières dans des fosses non étanches, l'entassement des cadavres humains dans d'étroits cimetières ou charniers — pratiques autrefois générales et qui sont loin d'avoir entièrement disparu — tendent à infecter les couches superficielles du sol, où l'air ne se renouvelle pas toujours assez vite pour en opérer la combustion. Même dans les villes modernes, même dans celles où l'on s'applique avec le plus de soin à combattre toutes les causes d'insalubrité, il en est qui subsistent et dont on n'a pas su encore se débarrasser : la plus grave peut-être, actuellement, provient de la distribution du gaz d'éclairage qui, s'échappant par les fuites inévitables d'une immense canalisation, pénètre le sol environnant, l'imprègne de produits carburés, lui

1. *Travaux souterrains de Paris*, tome III, p. 15.

donne une teinte noirâtre et une odeur caractéristique et le rend impropre à la nutrition des végétaux, sans compter les dangers d'explosion qui peuvent résulter du cheminement du gaz et de la formation de mélanges détonants dans les égouts, les caves des maisons, etc.

Les eaux souterraines, quand elles sont à faible profondeur, ne tardent pas à être atteintes par les mêmes causes de contamination que le sol, et elles contribuent d'ordinaire à en aggraver les effets : car, d'une part, presque toujours utilisées pour divers usages, souvent même pour la boisson, elles ont par suite une influence directe sur la santé ; et, d'autre part, leurs variations périodiques de niveau, tantôt en laissant à sec des couches généralement humides, tantôt en humectant des parties d'ordinaire à sec, modifient profondément, à certaines époques, le régime qui s'est établi peu à peu, et provoquent alors des émanations insalubres, parfois même des épidémies. Aux Indes, on l'a depuis longtemps observé, l'apparition du choléra coïncide toujours avec les basses eaux.

Enfin, les rivières, en traversant les villes, ou seulement en passant dans leur voisinage, reçoivent aussi une notable partie des détritus qui en proviennent : les eaux pluviales et de superficie qui s'y écoulent directement, les égouts qui y débouchent, les eaux souterraines qui les alimentent en partie, y apportent sans cesse des éléments de contamination, que le développement de la population et de l'industrie tend à rendre de plus en plus redoutables. A mesure que l'altération augmente, l'eau de rivière perd peu à peu ses qualités naturelles, à tel point qu'en certains endroits, plus particulièrement atteints, il arrive quelquefois que les poissons n'y peuvent plus vivre.

3. Microbes. — Partout où se répandent les déjections organiques provenant des agglomérations urbaines, partout où ces matières entrent en décomposition, le microscope révèle la présence d'un grand nombre de ces organismes, infiniment petits, auxquels de récentes découvertes de la science ont fait attribuer un rôle si important dans la nature et une influence si profonde dans les conditions de la vie. Les uns (*algues, champignons, moisissures*) vivent et respirent à la manière des végétaux ; les autres, au contraire, se rattachent au règne animal, sont doués de mouvement, absorbent l'oxygène de l'air et rejettent l'acide carbonique : ce sont les *bactéries (micrococcus, bacilles, vibrions*, etc.).

Les uns et les autres sont confondus sous le nom général de *microbes* et se reproduisent soit par division ou *scissiparité*, soit par la formation de *spores* ou *germes* vivaces qui peuvent être entraînés au loin, et conserver presque indéfiniment la faculté de se développer, lorsqu'ils rencontrent un milieu favorable.

Beaucoup de ces organismes microscopiques sont inoffensifs, et c'est impunément que nous en absorbons constamment soit dans l'air que nous respirons, soit dans l'eau que nous buvons, soit dans nos aliments

mêmes. Mais quelques-uns ont la faculté redoutable de donner naissance à des maladies déterminées, dites *maladies zymotiques*, et les admirables travaux de Pasteur et des savants qui l'ont suivi dans cette voie féconde ont prouvé que le charbon, la rage, par exemple, sont occasionnés par la présence et le développement de microbes caractéristiques.

4. Transmission des maladies. Épidémies. — L'état actuel de la science ne permet pas encore d'affirmer que toute maladie a son microbe; mais de nombreux faits, depuis longtemps connus, que cette hypothèse nouvelle est venue expliquer, la rendent certainement très vraisemblable, sinon pour toutes les maladies, du moins pour beaucoup d'entre elles.

Or, un seul germe, s'il se trouve tout à coup dans les conditions nécessaires pour son développement, ne tarde pas à donner naissance à des milliers de germes semblables, et un cas unique de maladie peut devenir ainsi, dans un temps très court, le point de départ d'une série nombreuse de cas identiques, l'origine d'une véritable *épidémie*.

Ces germes microscopiques se rencontrent en suspension dans l'air, et les poussières qu'un rayon de soleil y fait miroiter en contiennent toujours un grand nombre. Si l'air ne paraît pas offrir au développement de ces germes un milieu favorable, il leur sert sûrement de véhicule, et le vent, en agitant les couches atmosphériques, a pour effet de les transporter au loin dans toutes les directions. L'air des habitations, des rues, se charge de bactéries, qui bientôt peuvent venir, par l'effet de la respiration, se déposer dans les poumons, et envahir l'intérieur même de l'organisme.

L'eau courante contient aussi des germes et des microbes et les entraîne avec elle; de plus, il n'est pas douteux qu'elle présente souvent des circonstances favorables à leur développement ou à leur reproduction, et qu'il leur arrive d'y *pulluler*. Des observations nombreuses tendent à prouver que l'eau peut causer et transmettre le goitre, la dysenterie, les fièvres paludéennes, etc... « On a peut-être exagéré en « Angleterre, dit le Dr Fauvel, le rôle de l'eau employée aux usages « domestiques comme agent propagateur de certaines maladies, de la « fièvre typhoïde et du choléra, par exemple »; il n'en est pas moins incontestable que « l'eau peut servir de véhicule à certains germes « morbifiques ».

L'eau contaminée par les déjections des villes, les apports des égouts, les résidus de l'industrie, les déchets de toute nature, devient tout particulièrement suspecte. Les décompositions de matières organiques, les fermentations qui s'y produisent, y accumulent les microbes dans un liquide spécialement approprié à leur culture et où tout favorise leur multiplication rapide.

On entrevoit dès lors les dangers auxquels la santé des habitants des villes se trouve constamment exposée, et l'on conçoit l'importance que

prennent toutes les questions de salubrité urbaine, les bienfaits immenses qui peuvent résulter des progrès que leur étude permet de réaliser.

§ 2.

HYGIÈNE DES VILLES

5. Mesures sanitaires. — Exposés à subir les graves conséquences de la contamination de l'air, du sol, de l'eau, les habitants des villes ont de tout temps senti le besoin de lutter contre ces causes de destruction, contre ces menaces de maladies, en prenant une série de mesures spéciales, dont l'objet unique est de compenser artificiellement les avantages naturels qui leur manquent. Ils ont imaginé et mis en pratique une foule de procédés destinés à combattre les effets pernicieux de l'agglomération, à écarter les causes de mortalité anormale, à permettre d'atteindre dans les villes la même longévité que dans les campagnes, malgré les modifications fâcheuses apportées aux conditions de la vie.

L'ensemble de ces procédés, de ces mesures, constitue ce que l'on pourrait appeler l'*hygiène des villes,* et la science qui a pour objet l'étude des lois de la salubrité, la recherche, la coordination et le perfectionnement continu des moyens à mettre en œuvre pour l'application de ces lois, a pris depuis peu le nom de *science sanitaire.*

Cette science n'est pas nouvelle, et les anciens étaient arrivés, dans cet ordre d'idées, à un raffinement que, sur certains points, nous sommes loin d'avoir atteint; mais elle a été récemment remise en honneur, elle a repris depuis peu dans les préoccupations générales le rang qu'elle mérite, et il n'est point de pays civilisé où l'on ne consacre maintenant beaucoup d'efforts et beaucoup d'argent à l'amélioration des conditions de la vie dans les villes, à l'application et à la diffusion des mesures sanitaires.

6. Importance de la salubrité.— Il y va en effet — on a eu la sagesse de le comprendre — de la conservation de la vie.

« La vie est sans prix, » a dit fort justement Baldwin Latham, le célèbre hygiéniste anglais, et l'on ne saurait faire de trop grands sacrifices en vue de la défendre, ou pour la garantir contre les mille causes de destruction qui la menacent.

Pour le pauvre, la santé est un capital précieux, sa fortune tout entière, et il ne saurait prendre trop de précautions dans le but de la conserver intacte. Et, comme tous les habitants des villes sont nécessairement solidaires, exposés aux mêmes dangers, il n'en est point qui puissent se désintéresser des conditions générales de la salubrité, quels que soient les avantages spéciaux que leur situation particulière puisse leur procurer. Tous ont intérêt à concourir à l'amélioration de la santé publique, à la diminution de la mortalité générale. Et, s'il est un devoir

qui s'impose avant tout aux autorités chargées de la direction des affaires municipales, c'est celui de veiller constamment à l'observation des lois de l'hygiène, de faire respecter partout et toujours les règles de salubrité, d'assurer et de perfectionner sans cesse ce grand service public.

7. Effets obtenus. — Il est possible de faire beaucoup de bien dans cet ordre d'idées, et il en reste beaucoup à faire. Nombre de villes sont encore dans une situation déplorable au point de vue de la salubrité publique; les lois les plus simples y sont méconnues, les précautions les plus élémentaires n'y sont pas prises, et l'on y vit à cet égard dans une sorte d'indifférence coupable consacrée par la routine.

Les beaux résultats obtenus, partout où l'on a fait à propos des efforts sérieux et des sacrifices suffisants pour l'amélioration de la salubrité des villes, doivent encourager à propager le mouvement remarquable, qui s'est produit autour de nous, mais ne s'étend qu'avec lenteur.

« Il n'y a pas un quart de siècle, écrivait naguère Baldwin Latham, que des efforts sont faits en Angleterre pour améliorer les conditions sanitaires des agglomérations urbaines; et déjà, dans cette courte période, on a préservé bien des vies humaines, évité bien des maladies, bien des misères : la statistique est là pour montrer combien la santé publique s'est améliorée, et les résultats obtenus en peu de temps sont une indication de ce que l'on peut obtenir dans une période plus longue, en poursuivant, avec persévérance et avec le concours d'un plus grand nombre de bonnes volontés, le même but sur une plus large échelle. En vingt-cinq ans, la mortalité a diminué dans bien des villes de 5, 10, 20 et 30 0/0! A Londres, elle a diminué, de 1846 à 1871, de 10 0/0. »

Ces chiffres sont éloquents, et les travaux qui produisent de pareils résultats doivent être considérés comme un immense bienfait pour l'humanité.

Ne sait-on pas, d'ailleurs, que, pour un décès, il y a toujours 10, 20 ou 30 cas de maladie grave dans les villes, et ne doit-on pas admettre que le nombre de cas est réduit dans la même proportion que celui des décès par l'effet des mesures sanitaires? Par suite, que de maux évités, que de dépenses épargnées, que de temps gagné pour le travail, que d'avantages réalisés!

8. Principes généraux. — Or, l'hygiène des villes se réduit à un petit nombre de principes généraux, à l'observation desquels doivent se ramener toutes les tentatives faites en vue de l'amélioration de la salubrité publique.

L'air nécessaire à la respiration doit être maintenu aussi pur que possible.

L'eau doit être, d'une part, répandue à profusion, afin de faciliter tous les soins de propreté si nécessaires pour la conservation de la santé; d'autre part, elle doit être choisie — celle du moins qui est consacrée

à la boisson et aux usages domestiques — avec un soin extrême et protégée efficacement contre toute cause d'altération.

Le sol doit être défendu par tous les moyens contre la contamination progressive dont il est menacé.

Enfin, toutes les précautions doivent être prises pour entraîner rapidement au loin les matières putrescibles, de manière à assainir la maison, la rue, l'atmosphère, les nappes d'eau souterraines et les rivières.

Il ne suffirait pas, pour atteindre le but, de s'attacher à remplir une de ces conditions, toutes sont nécessaires, et l'on doit en poursuivre simultanément la réalisation.

§ 3.

MAINTIEN DE LA PURETÉ DE L'AIR

9. Atmosphère des villes. — Les causes naturelles d'agitation de l'air en assurent si rapidement le renouvellement que l'on n'a point songé à employer de moyens artificiels pour obtenir la purification de l'atmosphère des villes. Mais il est indispensable de venir en aide à la nature dans la mesure du possible, soit en facilitant l'action des vents, soit en écartant ou en combattant par divers procédés les causes les plus ordinaires d'altération de l'air.

C'est ainsi que l'on devra tracer les voies publiques de manière à y faciliter le passage des courants atmosphériques, les ouvrir assez largement pour que l'air y circule sans peine et que la lumière du jour y pénètre, en tenant compte et de l'orientation et de la direction des vents régnants. C'est ainsi que l'on devra éviter les ruelles étroites et sombres, bordées de maisons trop hautes, et les cours trop restreintes formant en quelque sorte des puits profonds où l'air se renouvelle malaisément.

D'autre part, il conviendra de prendre des mesures pour que les gaz irrespirables provenant des foyers de chaleur ou de lumière soient rapidement entraînés : de hautes cheminées devront, à cet effet, les conduire jusque dans les parties élevées de l'atmosphère, au-dessus des toits des maisons, où les vents agissent sans rencontrer d'obstacles; les établissements, qui donnent lieu à des émanations incommodes ou insalubres, devront être relégués aussi loin que possible des habitations et placés dans une direction telle par rapport aux vents régnants que ces émanations ne soient pas ramenées d'ordinaire vers le centre de l'agglomération, mais au contraire tendent toujours à s'en écarter.

Il est à peine besoin d'ajouter que les matières susceptibles d'entrer en décomposition ne devront jamais être abandonnées sur le sol des voies publiques, mais enlevées et transportées au loin avant d'avoir subi un commencement de putréfaction.

10. Rôle des plantations dans les villes. — C'est aussi en vue de contribuer au maintien de la pureté de l'atmosphère que l'on recommande de réserver dans les villes une place suffisante aux plantations. On reconnaît, en effet, aux végétaux, la propriété d'utiliser, pour leur respiration et leur nutrition propres, précisément les éléments que rejettent tous les êtres se rattachant au règne animal ; ils les transforment, et renvoient à l'atmosphère des gaz capables de servir de nouveau à la respiration des hommes et des animaux.

« Ils sont de plus, dit M. Chevreul, la cause occasionnelle d'un mou-
« vement incessant de l'eau souterraine extrêmement favorable à la
« salubrité du sol..., et ils s'accroissent en y puisant les matières
« altérables, causes prochaines ou éloignées d'infection »[1]. C'est même à ce dernier effet que l'illustre savant attribue l'influence la plus salutaire.

Quoi qu'il en soit sur ce point, il est hors de doute que l'on doit applaudir à toute mesure ayant pour but de réserver à la vie végétale une partie de la superficie occupée par les agglomérations urbaines.

L'élévation progressive du prix des terrains conduit peu à peu les propriétaires à augmenter la proportion des surfaces bâties, au détriment des cours et surtout des jardins, dans l'intérieur des grandes villes ; il appartient à la collectivité de lutter contre cette tendance fâcheuse en créant et plaçant sous la sauvegarde publique des plantations destinées à remplacer celles que sacrifie l'intérêt privé.

Les arbres d'alignement, les parcs, les jardins publics, les squares, qui contribuent tant à l'ornementation et à l'agrément des villes, sont en même temps de puissants moyens d'assainissement.

11. Ventilation des édifices. Aération des maisons. — Dans l'intérieur des édifices, et en particulier dans les lieux de réunion, comme les théâtres, les cafés, les amphithéâtres, etc. ; dans les habitations collectives comme les casernes, prisons, lycées, écoles, etc. ; dans les établissements consacrés aux malades, hôpitaux, hospices, ambulances, l'air est vicié très rapidement par la respiration des personnes, la combustion du gaz d'éclairage ou les autres foyers de lumière et de chaleur. Confiné dans des espaces restreints et clos de toutes parts, il ne tarderait pas à devenir irrespirable, si l'on n'employait des moyens artificiels spéciaux pour le renouveler très fréquemment. La *ventilation* est une des conditions essentielles de la construction d'édifices consacrés à ces divers usages, et, cependant, elle a été, elle est encore bien souvent négligée ou traitée comme un objet secondaire, d'une façon tout à fait insuffisante.

Elle n'exige pourtant d'ordinaire, lorsqu'on s'en préoccupe dès le début et au moment même de la construction, que des moyens extrêmement simples et peu coûteux : il faut tout d'abord mesurer largement l'espace,

1. *Mémoire sur l'hygiène des cités populeuses.*

de manière que le cube d'air par personne soit suffisant, puis il convient de ménager des prises d'air frais et d'assurer l'évacuation de l'air vicié ; les sections des conduits doivent être calculées de manière que, sans prendre une trop grande vitesse, la circulation des gaz assure dans un temps limité le renouvellement complet de l'atmosphère des diverses salles. Le plus souvent, les différences de température, qui se produisent nécessairement dans les diverses parties de l'édifice, déterminent seules les courants ascensionnels que l'on utilise pour la circulation de l'air; si ce moyen ne suffit pas dans certains cas spéciaux, on y pare en activant la circulation, soit mécaniquement par des ventilateurs, soit par des moyens physiques comme l'établissement de cheminées spéciales activant le tirage, ou de foyers uniquement destinés à augmenter l'écart des températures. Il convient seulement de prendre les précautions nécessaires pour que les courants d'air restent toujours insensibles et ne puissent incommoder les personnes qui se trouvent dans les salles ventilées ; l'air frais doit se mélanger lentement et peu à peu avec l'air ambiant de manière à parvenir auprès d'elles à la température même de l'atmosphère qui les entoure, etc.

Dans les maisons, dans les habitations proprement dites, à l'exception de ces *logements insalubres* dont une réglementation sévère et strictement appliquée doit tendre à poursuivre la suppression absolue, l'aération naturelle suffit le plus souvent; et c'est ce qui arrive lorsque les appartements ont une hauteur convenable, lorsque les chambres ne sont pas trop étroites, lorsque les fenêtres s'ouvrent sur des voies larges ou sur des cours bien aérées, lorsque les cheminées sont bien établies. Mais il n'en est plus ainsi dès que certaines circonstances particulières provoquent, dans une pièce en particulier, dans une salle de réunion par exemple, ou dans la chambre d'un malade, une altération plus rapide de l'air ; et cependant on peut dire que jamais les constructeurs ne se préoccupent des cas spéciaux, et ne prévoient les dispositions bien simples qui assureraient alors une ventilation efficace. Quelques prises d'air facultatives, quelques tuyaux d'évacuation bien placés, suffiraient presque toujours ; et que de fatigues, que de souffrances, on peut le dire, ils éviteraient dans les grandes villes !

Il faut avoir soin aussi d'empêcher toute rentrée d'air vicié ou impur dans l'intérieur des habitations, et prendre des précautions spéciales pour que jamais aucune communication ne puisse s'établir avec l'atmosphère des égouts, des fosses, etc. Les tuyaux d'évent des fosses fixes, les tuyaux de chute des eaux pluviales et des eaux ménagères ou des vidanges, pourraient devenir autant de foyers d'infection, si, par des moyens appropriés, on ne savait en intercepter en tout temps et de façon absolue toute communication avec les locaux habités.

§ 4.

ASSAINISSEMENT DU SOL

12. Conditions générales. — L'assainissement du sol exige tout d'abord, de même que celui de l'atmosphère, l'éloignement aussi prompt que possible de tous les détritus solides ou liquides, déchets animaux ou végétaux, cadavres d'animaux, matières putréfiables ou susceptibles d'entrer en décomposition, boues, ordures ménagères, résidus de toute espèce que produisent inévitablement toutes les agglomérations urbaines, et dont le dépôt sur le sol et la fermentation subséquente serait une des causes les plus redoutables de contamination.

On a recommandé parfois de brûler les matières putrescibles, et c'est à cet ordre d'idées qu'il faut rapporter le mouvement qui se produit depuis quelques années en faveur de la *crémation*. Par ce moyen, l'on détermine en effet, très rapidement et sans danger, la combustion des matières qui étaient destinées à être comburées à la longue par l'action de l'air ou du sol, et les gaz produits rentrent immédiatement dans la grande circulation naturelle pour servir à la respiration et à la nutrition des végétaux. « Le feu purifie tout. »

Mais, dans la plupart des cas, on se contente de placer les *cimetières* d'une part, et d'autre part les *abattoirs*, les *voiries*, les *dépotoirs*, aussi loin que possible des centres habités. L'interdiction des *puisards*, *puits perdus*, *fosses sans fond*, la construction d'*égouts*, les systèmes perfectionnés de vidange, ont pour objet d'empêcher l'action des résidus liquides sur le sol et d'en assurer l'entraînement rapide à grande distance. Quant aux résidus solides, boues et ordures ménagères, il faut en assurer l'enlèvement par d'autres moyens.

13. Enlèvement des détritus solides. — Ce dernier problème, fort simple en apparence, soulève dans bien des villes des difficultés sérieuses, et, entre le système adopté à Constantinople, où les chiens errants sont seuls chargés du soin de la voirie et de l'enlèvement des ordures ménagères, et les services considérables et perfectionnés constitués dans certaines villes, il y a bien des intermédiaires plus ou moins satisfaisants.

En général, les dépôts permanents d'immondices, *trous à fumier*, etc., sont interdits comme les puisards. Les habitants sont tenus de déposer les ordures ménagères sur la voie publique, mais certains jours et à certaines heures seulement, et des ouvriers spéciaux, pourvus d'un matériel approprié, procèdent alors à l'enlèvement des boues et autres détritus solides, après que l'industrie des *chiffonniers* en a retiré tout ce

qui est susceptible d'être employé à nouveau, chiffons, vieux papiers, etc. Des voitures les transportent au loin, dans des emplacements disposés pour les recevoir, où la fermentation se produit et transforme l'ensemble en un engrais assez riche et fort recherché.

Dans certaines villes, l'opération est pour la collectivité une source de bénéfices, et, toutes les fois que les exigences de la voirie ne sont pas trop grandes, les enlèvements trop fréquents, les transports trop considérables, les cultivateurs du voisinage se chargent volontiers du service, soit en versant à la municipalité une somme d'argent en sus du travail qu'ils fournissent, soit en recevant une partie du prix de ce travail en sus des engrais qui leur sont abandonnés.

A Paris, les marchés passés pour l'enlèvement des ordures ménagères étaient encore une ressource pour la ville, il y a une vingtaine d'années ; depuis, au contraire, ils sont devenus pour le budget une charge de plus en plus lourde [1], bien que le mode d'enlèvement n'ait pas changé. De grands tombereaux découverts, fournis par des entrepreneurs qui servent d'intermédiaires entre le service municipal et les cultivateurs, parcourent toutes les voies publiques chaque jour, de bonne heure, et, aussitôt chargés, gagnent les dépôts de la banlieue ou les gares de chemin de fer, d'où les *gadoues* sont expédiées vers les régions de culture, dans diverses directions. Il n'est permis de déposer les ordures ménagères sur la voie publique que très peu de temps avant le passage des voitures, dans des boîtes de forme spéciale, dont un petit élévateur mécanique, suspendu à l'arrière du tombereau, facilite la manipulation. Le chiffonnage ne peut se faire que dans les boîtes, et sans en renverser le contenu ; il se pratique aussi dans les cours des maisons et dans les dépôts de la banlieue. Quant aux boues, elles sont, pour la majeure partie, envoyées aux égouts. Dans ces conditions, le service se fait rapidement et d'une façon assez satisfaisante : on a cependant, plus d'une fois, réclamé le remplacement des tombereaux par des chariots couverts, l'amélioration du mode de chargement et des départs plus rapides dans les gares ; il reste aussi à chercher des dispositions pratiques et commodes pour assurer le transport des ordures ménagères des divers étages de la maison dans la cour, pour en faciliter le rassemblement et la conservation jusqu'au moment où elles doivent être portées sur la voie publique.

Dans quelques villes, l'enlèvement des boues est devenu une sorte de service public, avec son personnel, son matériel, ses dépôts, et qui est parfois, pour l'administration municipale, une source de revenus. Tel est le cas de la paroisse de Saint-Mary-Newington, à Londres [2]. La

1. 1.906.000 francs par an. (Bail du 16 janvier 1884.)
2. Barabant ; *Annales des Ponts et Chaussées*, 1885, 1er semestre.

ferme des boues, à Bruxelles, est, au contraire, assez onéreuse pour le budget de la ville.

Dans certains cas, la difficulté de se débarrasser des boues est telle que l'on a recours à la combustion : des installations spéciales ont été faites, à cet effet, à Leeds, à Manchester, à Londres.

14. Revêtement des voies publiques. — Quelles que soient les mesures prises pour l'enlèvement complet et rapide des détritus solides, il est matériellement impossible qu'une petite partie de ces détritus n'y échappe et ne demeure sur la voie publique. Le balayage, le lavage des ruisseaux, peuvent encore, il est vrai, concourir à en débarrasser le sol, puisqu'ils en facilitent l'évacuation par les égouts. Mais il n'en reste pas moins une fraction minime qui, jointe aux résidus liquides non entraînés par la pluie ou les lavages, tendrait à imprégner la couche supérieure du sol et contribuerait bientôt à la contaminer gravement, si elle n'était pas efficacement protégée contre toute pénétration des matières organiques par un *revêtement* spécial.

Les besoins de la circulation publique ont fait adopter pour les chaussées, pour les trottoirs, pour les contre-allées, divers modes de revêtement qui répondent le plus souvent à la condition que nous venons d'indiquer. Mais tous ne présentent pas, à cet égard, les mêmes avantages.

Les uns, absolument imperméables, *asphalte*, *bitume*, *ciment*, procurent, en conséquence, une garantie complète.

D'autres sont bien composés de matériaux imperméables, mais présentent des *joints* plus ou moins nombreux, où, dans certaines circonstances, les liquides chargés de matières organiques peuvent pénétrer et subir la fermentation putride : les joints en sable des *pavages*, d'ordinaire imperméables, se vident parfois après de grandes pluies, ou un brusque dégel, et l'on y voit alors immédiatement se former une matière noire caractéristique qui rappelle la boue infecte des ruisseaux mal entretenus ; les *empierrements*, composés de pierrailles agglutinées également par le sable, doivent présenter le même inconvénient, quoique à un moindre degré, parce que les joints y sont multipliés, distribués en tous sens et très petits. C'est pour ce motif que l'on voit l'herbe pousser bientôt entre les joints des pavés ou sur les bords des chaussées empierrées, pour peu que l'entretien en soit négligé et que la circulation s'y ralentisse.

Certains revêtements enfin sont composés de matériaux dont l'imperméabilité propre n'est pas parfaite ; tels sont les *pavages en bois*, et, bien que les joints de ces pavages soient faits au mortier ou au bitume, il ne faudrait peut-être pas s'étonner d'en voir la couche supérieure, surtout dans les parties flacheuses et usées, s'imprégner parfois de liquides putrescibles, ce qui ne serait pas sans quelques inconvénients pendant les chaleurs.

15. Drainage des couches souterraines. — La présence d'une nappe souterraine, à faible profondeur, dans le sol d'une ville ou d'un quartier, est, en général, une mauvaise condition d'hygiène.

Tous les résidus liquides qui pénètrent le sol, au lieu de s'y infiltrer profondément et d'y subir à la longue une transformation complète, s'arrêtent dans la nappe et en altèrent les eaux. Là, plus que jamais, il y a tendance à faire des puisards, des fosses perdues, et, malgré les règlements les plus sévères, la surveillance la mieux organisée, on ne parvient pas à les supprimer entièrement ; puis, le moindre défaut d'étanchéité des fosses fixes, des égouts, etc., contribue à l'altération de la nappe.

Suivant les saisons, l'état de sécheresse ou d'humidité, le niveau de la nappe varie, et ces variations ont, en général, des effets désastreux, soit que, en s'abaissant, elles laissent à découvert des couches contaminées où la putréfaction s'accélère, soit, au contraire, qu'elles apportent, en s'élevant, des causes de décomposition et d'insalubrité. Très souvent elles déterminent des maladies, des épidémies.

On a observé en Angleterre que les villes bâties sur un sol perméable au voisinage de la mer sont en général salubres, et l'on attribue cet avantage à l'invariabilité du niveau de la nappe souterraine qui, aboutissant à la mer, se tient nécessairement un peu au-dessus du niveau moyen constant de l'Océan. Plus on pénètre dans l'intérieur des terres, plus les variations de niveau des eaux souterraines s'accentuent. La présence de l'eau de mer dans le sol semble d'ailleurs moins dangereuse que celle de l'eau douce.

Les anciens connaissaient l'influence des nappes souterraines ; Vitruve la signale et recommande de la combattre par le *drainage*.

Souvent, en effet, il y aurait intérêt à donner un écoulement aux eaux de la nappe ou à en abaisser le niveau. L'eau qui était stagnante se renouvelle alors et il en résulte l'introduction dans le sol d'une certaine quantité d'oxygène qui facilite la combustion des matières organiques.

Mais les applications du drainage dans les villes sont encore peu nombreuses. Dans quelques cas assez rares, la construction des égouts a été accompagnée de la pose de drains, généralement placés dans la même tranchée, au-dessous ou à côté des égouts proprement dits et sans communication avec eux ; c'est ce qui a été fait, notamment à Dantzick, dans quelques villes d'Angleterre et d'Amérique, dans certains quartiers de Munich. De nombreuses observations ont permis de constater l'heureuse influence du drainage sur la santé publique, la diminution consécutive de la phtisie, de la fièvre typhoïde, des maladies inflammatoires, etc.

A Paris, Belgrand a songé à établir, dans les quartiers où, au moment des inondations de la Seine, la nappe d'infiltration s'élève, envahissant

les caves et menaçant la salubrité publique, un système d'assainissement spécial. Il eût été composé d'une série de pompes rotatives aspirant l'eau de la nappe et la rejetant dans les égouts. Une installation-type, établie sur la place du Palais-Bourbon, à la suite de l'inondation de 1876, a montré que ce système pouvait donner d'excellents résultats : le moteur employé était une petite turbine horizontale montée sur l'arbre même de la pompe et mise en mouvement par l'eau de la distribution.

§ 5.

IMPORTANCE CAPITALE DE L'EAU.

16. Rôle multiple de l'eau comme élément de salubrité. — L'action si directe de l'eau sur l'économie du corps humain lui donne une importance toute spéciale : véhicule nécessaire des aliments, elle va les porter à l'intérieur de l'organisme, en parcourt les parties les plus délicates, puis entraîne les matières solubles qui n'ont point été assimilées ou sont rejetées par les divers organes. Aussi conçoit-on aisément la nécessité de choisir, pour l'alimentation, une eau aussi pure que possible; la pureté de l'eau est encore plus indispensable, peut-être, que celle de l'air. Cette idée est même instinctive, pour ainsi dire, et, dans tous les temps, chez tous les peuples, elle a été admise comme une de ces vérités qui s'imposent et ne sauraient point soulever de discussion. Les travaux de la science moderne sont venus confirmer d'une manière éclatante, d'ailleurs, l'importance de l'eau potable au point de vue de la santé publique; parmi les questions sanitaires, il n'en est pas qui mérite à un plus haut degré d'attirer l'attention des hygiénistes que celle de l'alimentation des villes en eau de bonne qualité.

« La bonne qualité des eaux, disait de Jussieu à l'Académie des « sciences, en 1733, étant une des choses qui contribuent le plus à la « santé des citoyens d'une ville, il n'y a rien à quoi les magistrats aient « plus d'intérêt qu'à entretenir la salubrité de celles qui servent à la « boisson. »

Puis, à côté de l'alimentation, il faut songer à l'assainissement, et, de tous les agents qui peuvent être utilisés pour cet objet, il n'en est pas de plus indispensable que l'eau elle-même. La pluie a pour effet de purifier l'atmosphère, car elle emprunte à l'air une partie des impuretés qui s'y accumulent; puis, en ruisselant sur le sol, sur les toits, etc., elle entraîne les poussières, les détritus qui s'y sont déposés. Et, comme la pluie ne suffirait pas le plus souvent à débarrasser les villes de toutes les impuretés, de tous les résidus qui ne sont ni entraînés par les mouvements de l'air, ni enlevés avec les boues et autres matériaux solides, il faut

en imiter artificiellement les effets par des arrosages, des lavages périodiques, et se procurer dans ce but de l'eau en abondance.

A ces besoins primordiaux — alimentation proprement dite et assainissement — viennent s'ajouter encore une foule d'autres besoins, auxquels l'eau seule peut donner satisfaction, et qui sont des conditions nécessaires de la vie humaine et de la salubrité générale : usages domestiques, cuisson des légumes, lavages de toute nature, bains, etc., etc.

17. Eaux nuisibles, évacuation rapide, épuration. — Lorsqu'elle a servi, lorsqu'elle s'est chargée de matières organiques, non seulement l'eau ne peut plus être utilisée à nouveau, mais au contraire sa présence même est nuisible : si elle restait alors stagnante, les matières qu'elle contient en dissolution ou en suspension ne tarderaient pas à subir la fermentation putride, à répandre des odeurs désagréables et malsaines, des miasmes; l'eau deviendrait en peu de temps une cause grave d'insalubrité. Dès lors, il faut se préoccuper avant tout de l'éloigner le plus rapidement possible, en facilitant son écoulement, soit à la surface du sol, soit au moyen de conduits souterrains; il faut en débarrasser les habitations, les voies publiques, et la conduire en un temps très court à une distance telle que la décomposition des matières organiques ne puisse plus avoir d'influence fâcheuse sur l'agglomération urbaine.

Mais cela n'est pas encore suffisant, et il est à craindre que ces eaux contaminées, continuant à s'écouler suivant la pente naturelle du sol, n'aillent empoisonner quelque localité voisine située un peu plus bas, avant que les agents naturels soient parvenus à les débarrasser des matières organiques qu'elles contiennent et aient rendu au liquide une complète innocuité. Il peut dès lors être nécessaire d'*épurer* les eaux par des moyens artificiels.

18. Distributions d'eau. Réseaux d'égouts. — Ce simple aperçu des fonctions diverses de l'eau dans les agglomérations urbaines, fait immédiatement entrevoir l'importance de cet élément de salubrité. Et l'on sent bien l'intérêt considérable qui doit s'attacher à tout ce qui concerne l'amenée, la distribution, l'évacuation et l'épuration des eaux.

En effet, il est assez rare que l'on fasse dans les villes des travaux spéciaux pour la purification de l'air ou l'assainissement du sol: tout se borne le plus souvent à l'application de quelques principes généraux, de quelques règles prohibitives, à des mesures de police ou de voirie. Si l'on y ajoute parfois l'exécution de certains ouvrages, c'est généralement par suite de circonstances exceptionnelles, et encore ces ouvrages ne sont-ils, d'ordinaire, que l'accessoire de travaux plus importants et d'un autre ordre; le mode de revêtement des chaussées est choisi surtout en raison des avantages qu'il présente pour la circulation des voitures, les plantations, malgré leur rôle sanitaire, sont disposées le plus souvent au point de vue de l'ornementation et de l'agrément; on s'occupe de

la ventilation de tel édifice, suivant l'usage auquel il est destiné, au moment même où on le construit, ou plus tard si l'expérience y a fait constater certains défauts ou inconvénients résultant du manque d'aération; il faut des motifs tout particuliers pour qu'on se préoccupe du drainage du sous-sol dans un endroit habité.

Mais on ne conçoit guère une ville moderne de quelque importance sans un système de *distribution* amenant en tous les points l'eau nécessaire à tous les usages, à l'alimentation, aux lavages et à l'assainissement, ou sans un *réseau d'égouts* destiné à rendre commode, facile et rapide l'évacuation des eaux chargées de matières organiques.

CHAPITRE II

L'EAU DANS LES VILLES

Sommaire :

§ 1er. *Nécessité d'une circulation continue de l'eau dans l'intérieur des villes.* — 19. Distribution de l'eau utile ; évacuation de l'eau nuisible. — 20. Comparaison avec le système circulatoire des animaux.

§ 2. *Eau utile. Alimentation.* — 21. Utilité générale de l'eau. — 22. Usages divers de l'eau. — 23. Classement des divers usages de l'eau en deux séries distinctes. — 24. Distributions d'eau. — 25. Alimentation unique. Double alimentation.

§ 3. *Eaux nuisibles. Assainissement.* — 26. Objet de l'assainissement des villes. — 27. Eaux ménagères, eaux résiduaires, vidanges, eaux pluviales. — 28. Réseaux d'égouts. — 29. Épuration des eaux d'égout.

§ 1er.

NÉCESSITÉ D'UNE CIRCULATION CONTINUE DE L'EAU DANS L'INTÉRIEUR DES VILLES

19. Distribution de l'eau utile. Évacuation de l'eau nuisible. — Agent de nutrition et d'assainissement tout à la fois, véhicule naturel des aliments, des germes, aussi bien que des déjections de toute espèce, l'eau est sans doute, parmi les éléments nécessaires à la vie, celui qui mérite de fixer avant tout l'attention des habitants des villes.

La salubrité exige, d'une part, que l'eau, aussi pure et aussi abondante que possible, soit mise à la portée de toutes les personnes qui composent l'agglomération urbaine, en quelque point du périmètre habité qu'elles se soient fixées, qu'à toute heure l'usage leur en soit facile ; et, d'autre part, qu'aussitôt après l'emploi l'eau plus ou moins chargée d'impuretés, de matières organiques, de détritus de toutes sortes, soit immédiatement conduite hors des habitations, puis rapidement évacuée au loin en dehors de la ville même.

Il doit donc s'établir une sorte de *circulation continue* et ininterrompue de l'eau dans les villes : et ce système de circulation peut être considéré comme une des conditions mêmes de la vie, une des lois nécessaires de l'hygiène.

Cela suppose que l'eau pure, amenée dans l'intérieur de chaque ville en masse suffisante, soit sans cesse répartie entre les divers quartiers, distribuée dans toutes les maisons, dans tous les locaux habités, afin d'y rendre les divers services que l'on en attend ; et que l'eau devenue inutile, ayant servi, chargée de résidus, trouve dans chaque local un orifice d'évacuation, aille rejoindre immédiatement celle provenant des habitations voisines, se réunisse de proche en proche à celle que rejettent les divers quartiers, pour être finalement conduite en masse vers un débouché suffisamment éloigné, en un point où elle ne puisse plus nuire.

On conçoit aisément qu'un système aussi complet de circulation comporte des ouvrages multiples et complexes : les uns, destinés à recueillir, rassembler, amener, emmagasiner sans interruption aucune les masses d'eau nécessaires ; les autres à les distribuer d'abord en un petit nombre de parts, puis en fractions de plus en plus petites se subdivisant presque à l'infini pour aboutir à chacun des orifices de puisage ; d'autres encore à recueillir les eaux impures à tous les orifices d'évacuation, à les rassembler peu à peu en quantités de plus en plus considérables, à les réunir enfin dans les collecteurs qui doivent en assurer l'écoulement rapide et le transport à distance.

20. Comparaison avec le système circulatoire des animaux. — Il a été fait souvent une comparaison saisissante entre ce système de circulation de l'eau dans les villes et le mouvement du sang dans l'organisme animal.

De part et d'autre, le liquide vital est amené et distribué par un réseau complet de canaux, d'embranchements, de ramifications de diamètres de plus en plus petits, et vient aboutir par des vaisseaux extrêmement ténus aux points mêmes où s'opèrent les transformations qui constituent les fonctions essentielles et nécessaires des diverses parties de l'organisme. Puis, après avoir servi, modifié dans sa composition par l'usage même, chargé des matières inutiles ou nuisibles que rejette cet organisme auquel il apportait la vie, ce même liquide continuant son mouvement, passe dans une autre série de canaux, d'abord très petits et très multipliés, puis de plus en plus gros et de moins en moins nombreux, et finalement dans les troncs communs d'évacuation qui vont le porter au contact des agents naturels chargés de le revivifier pour un nouvel usage.

Les distributions d'eau, les réseaux de conduites, correspondent au *système artériel ;* les tuyaux de chute, les égouts, les collecteurs constituent le *système veineux*.

§ 2.

EAU UTILE. ALIMENTATION

21. Utilité générale de l'eau. — « La nécessité d'une bonne fourni-« ture d'eau est chose tellement reconnue aujourd'hui qu'on n'a plus à « la démontrer [1]. »

En effet, « malgré l'abondance avec laquelle elle est répandue à la sur-« face du sol, l'eau manque souvent sur certains points où elle serait le « plus utile ; il n'y a guère de champ qu'elle ne puisse rendre plus fer-« tile, de ville qu'elle ne puisse rendre plus salubre, d'endroit qu'elle ne « puisse embellir [2]. »

« De l'eau partout, » a dit M. Foucher de Careil, « car il en faut trop « pour qu'on en ait assez. »

Cela est si vrai que le développement de certaines villes a été une conséquence des facilités successivement données à leurs habitants pour se procurer l'eau nécessaire aux besoins de la vie. Londres en fournit un exemple remarquable. « Sans la fourniture d'eau artificielle et les robi-« nets établis dans toutes les maisons, a dit lord Brougham, cette « capitale n'aurait pu atteindre qu'une faible fraction de son étendue et « de sa population actuelles. » Et si l'on jette un coup d'œil sur la suite des plans qui représentent les diverses étapes du développement de cette colossale cité, on la voit s'étendre d'abord le long des deux rives de la Tamise sans s'éloigner du fleuve, sans s'élever sur les coteaux ; puis former de nouveaux quartiers sur les premières pentes, dès que l'on y installe les premiers systèmes d'élévation d'eau avec leurs machines rudimentaires et leur canalisation en bois ; prendre enfin un nouvel essor quand la transformation de la machine à vapeur à l'époque de Watt et l'introduction des canalisations en fonte lèvent tous les obstacles. Alors « l'eau peut être envoyée partout, l'espèce de blocus qui resserrait la « ville prend fin, et de ce moment commence pour elle le prodigieux « développement que nous voyons se continuer aujourd'hui avec une « vitesse toujours croissante [3]. »

« Un voyageur célèbre, rapporte Arago, disait qu'il avait pu presque « partout juger du degré de civilisation des peuples par leur propreté. » Et cette observation est pleinement confirmée par les enseignements de l'histoire. Dans tous les pays et dans tous les temps, le besoin d'eau a une tendance à augmenter avec les progrès de la civilisation. Tout d'abord l'eau n'est employée par l'homme que pour étancher sa soif, pour se rafraîchir ; il ne lui en faut qu'une très faible quantité et il est

1. Darcy. *Les Fontaines publiques de la ville de Dijon.* Introduction.
2. Dupuit. *Traité de la conduite et de la distribution des eaux.* Avertissement, p. 5.
3. Couche. *Les eaux de Londres et d'Amsterdam*, 1883.

peu exigeant sous le rapport de la qualité. Puis le sens de la propreté se développe peu à peu ; l'homme emploie alors plus d'eau et il la veut claire, limpide, fraîche. Ensuite il apprend à utiliser l'eau comme une matière appelée à lui rendre de nombreux services ; il l'emploie pour la cuisson de ses aliments, le lavage de ses vêtements ; bientôt elle lui fournit la force motrice, etc. Chaque progrès de l'industrie humaine comporte un nouvel usage de l'eau, pour ainsi dire, jusqu'au jour où, se pliant aux exigences de la société la plus raffinée, elle devient indispensable dans la maison, dans la rue, dans les usines, et finit par être considérée comme l'un des instruments les plus précieux que l'homme ait su emprunter à la nature, l'un des éléments qui lui fournissent le plus de bien-être, celui qui est le plus nécessaire à la salubrité publique.

22. Usages divers de l'eau. — Dans les villes modernes, les usages auquels doit se prêter le service d'alimentation en eau potable sont extrêmement multiples et variés.

En première ligne, il faut placer les *usages domestiques* et le plus intéressant de tous : la *boisson*. Il y a des contrées où l'on boit peu d'eau : dans les pays du Nord, par exemple, la bière, le cidre et d'autres liqueurs fermentées constituent la boisson habituelle, de sorte que l'on y attache peu d'importance au goût, à la limpidité, à la fraîcheur de l'eau potable. Ailleurs, au contraire, dans les pays du Midi surtout, et presque dans toute la France, l'eau est la boisson normale et ses diverses qualités y sont par suite extrêmement appréciées. Mais partout l'eau est employée dans la maison pour l'hygiène du corps, la toilette, les bains, etc; pour la cuisson des aliments et les soins nombreux qui s'y rattachent, le lavage du linge, l'entretien des locaux habités, l'entraînement des déjections de toute nature, le nettoyage des cours ; puis viennent les soins à donner aux animaux domestiques, l'arrosage des jardins, la culture maraîchère, etc. Enfin, dans certains cas, l'eau est utilisée comme force motrice, et les ascenseurs hydrauliques, qui se répandent depuis quelques années dans les grandes villes, en constituent à ce point de vue un emploi des plus intéressants.

Les distributions d'eau doivent satisfaire en même temps aux nécessités des *services publics* : tant pour la salubrité — arrosage des rues, lavage des caniveaux, nettoyage des marchés, entraînement des boues et détritus, curage des égouts, etc. — que pour l'agrément et l'ornementation des promenades — arrosage des plantations, alimentation des fontaines publiques et — pour la sécurité générale — extinction des incendies.

Puis viennent les divers *usages industriels*, si nombreux, si variés qu'on ne saurait en faire une énumération même approximative : il n'est pas d'usine où l'eau ne soit appelée à jouer un rôle important, pas de fabrication où elle n'intervienne. On peut citer cependant, parmi les usages les plus répandus : l'alimentation des lavoirs, établissements de bains, pis-

cines, la fabrication des boissons artificielles, eaux de seltz et autres, la production et la condensation de la vapeur employée comme force motrice, la teinture...

23. Classement des divers usages de l'eau en deux séries distinctes. — Un examen tant soit peu attentif de ces modes variés d'utilisation fait aisément ressortir la possibilité de classer les usages multiples de l'eau en deux catégories distinctes.

Les uns mettent l'eau immédiatement ou indirectement en contact avec nos organes, et par suite le souci de la santé publique impose pour cette première catégorie le choix d'une eau pure, à l'abri de toute contamination antérieure, et qui ne puisse même pas être soupçonnée.

Les autres, en comportant l'emploi soit pour des lavages ou pour l'entraînement rapide des détritus, soit pour des opérations où interviennent la chaleur ou les agents chimiques, la pureté absolue de l'eau n'est plus nécessaire. Cela ne veut pas dire qu'il n'y ait toujours intérêt à rechercher de préférence celle qui présente la pureté relative la plus grande, car certains usages industriels ont sous ce rapport d'assez sérieuses exigences; ainsi, par exemple, une eau peu chargée de sels est avantageuse pour l'alimentation des machines à vapeur ; mais il n'y a pas à se préoccuper des microbes qu'elle peut contenir, des principes plus ou moins suspects ou des germes qu'elle a pu recueillir. En somme, la plupart des eaux communes peuvent être employées à la satisfaction des usages classés dans la seconde catégorie.

On est ainsi amené à considérer l'eau destinée à l'alimentation des villes à un double point de vue, à distinguer celle qui doit être consacrée aux usages sanitaires proprement dits et dont la qualité doit avoir à coup sûr une influence sur la santé publique, de celle qui est employée à une foule d'usages d'un autre genre, et dont la pureté est beaucoup moins importante que la quantité.

D'une part, *l'eau alimentaire*, en prenant ce mot dans un sens très général ; d'autre part, l'eau de lavage, l'eau d'usage commun, l'eau matière première, *l'eau industrielle*. En Allemagne, ces deux espèces d'eau ont reçu deux noms distincts et maintenant consacrés, *Trinkwasser*, eau-boisson, et *Nutzwasser*, eau d'usage ou industrielle.

24. Distributions d'eau. — On appelle *distribution d'eau* un ensemble d'ouvrages conçus et combinés pour apporter à toute collectivité, le plus souvent à une ville tout entière ou à plusieurs localités voisines en même temps, dans certains cas plus rares à une partie d'une très grande cité, l'eau nécessaire à tous les besoins des habitants, besoins privés, publics et industriels.

Le choix des sources alimentaires auxquelles on emprunte l'eau nécessaire et la disposition générale des ouvrages, tout doit être combiné de manière à satisfaire le mieux possible à l'ensemble des besoins généraux à desservir. Si, comme il arrive souvent, les circonstances locales ne

permettent pas de réunir absolument toutes les conditions requises, il faut alors bien déterminer celles auxquelles il importe surtout de répondre, sans sacrifier outre mesure à telle ou telle préoccupation dominante, et diriger en conséquence l'étude des projets et l'exécution des travaux.

Tantôt les considérations sanitaires devront faire rejeter entièrement telle combinaison qui paraîtrait excellente à tous autres égards ; et l'on ne devra pas hésiter à s'imposer des charges très lourdes pour écarter un danger, quelque éloigné qu'il paraisse, ou seulement la crainte plus ou moins justifiée d'un péril éventuel pour la santé publique.

Tantôt il conviendra de ne pas montrer une exigence par trop méticuleuse au point de vue de la pureté absolue de l'eau, de ne pas attacher une importance exagérée à des différences d'ordre secondaire, à des nuances insignifiantes, lorsqu'il s'agit avant tout de répondre à l'ensemble de besoins d'une ville, de fournir à tous les habitants, de la façon la plus large et la plus commode, l'eau nécessaire à l'alimentation générale.

25. Alimentation unique. Double alimentation. — Malgré la multiplicité des besoins et la diversité des conditions parfois contradictoires qui s'imposent lors de l'établissement d'une distribution d'eau, c'est le système de *l'alimentation unique* qui doit être ordinairement préféré : la même eau est alors consacrée à tous les usages et distribuée à tous les habitants par une seule canalisation. Ce système se recommande par sa simplicité, l'économie de premier établissement et d'entretien et la facilité du service. Il est le seul rationnel toutes les fois qu'il s'agit de desservir une localité d'importance médiocre ou moyenne, d'y créer de toutes pièces une distribution d'eau, quand on ne rencontre pas de difficultés extraordinaires pour y fournir en quantité suffisante de l'eau de qualité acceptable, ce qui est le cas le plus ordinaire.

Mais dans toutes les grandes villes, où l'on est obligé de recourir à plusieurs services d'alimentation parce qu'aucune ne répondrait complètement à tous les besoins, dans les localités déjà partiellement desservies où il est devenu nécessaire d'entreprendre des travaux complémentaires, dans celles où les eaux qu'il est le plus facile de se procurer sont de qualité inférieure et où l'eau pure ne peut être obtenue qu'à un prix élevé, il devient logique de recourir à la *double alimentation*, c'est-à-dire d'installer deux canalisations complètes et parallèles, apportant l'une l'eau alimentaire destinée au service privé, aux usages domestiques, l'autre l'eau de lavage, l'eau d'usage commun pour les services publics et industriels. Cette division complique évidemment les ouvrages et l'exploitation du service, mais il peut arriver néanmoins qu'elle soit très avantageuse ; le principe en découle d'ailleurs tout naturellement de la distinction que l'on est conduit à faire entre les deux natures d'eau affectées à deux catégories d'usages bien différents.

Le choix entre les deux systèmes est, bien entendu, une question

d'espèce, et l'on ne saurait donner à ce sujet d'indication générale : dans chaque cas, suivant les circonstances locales et les conditions particulières, ce n'est qu'après discussion des diverses solutions en présence que l'on peut prendre la meilleure détermination.

§ 3.

EAUX NUISIBLES. ASSAINISSEMENT

26. Objet de l'assainissement des villes. — « Il ne suffit pas de pro-« curer à une ville, dit Parent Duchâtelet [1], l'eau qui lui est nécessaire « pour les besoins de la vie et le service des usines et des manufactures ; « il faut, lorsque cette eau s'est chargée de toutes les impuretés qui « nuisent à notre santé ou à notre bien-être, nous en débarrasser ; autre-« ment, en se corrompant, elle serait une cause d'infection et rendrait « inhabitables les lieux où les hommes l'auraient amenée par leur art « et par leur industrie ; de là la nécessité des égouts et des cloaques, « que nous voyons toujours dans les grandes villes, tant anciennes que « modernes, qui ont été abondamment pourvues d'eau. »

L'entraînement rapide des eaux impures — qui ne tarderaient pas à devenir nuisibles — est le complément nécessaire de toute distribution d'eau ; l'*assainissement* doit forcément s'ajouter à l'*alimentation* pour former ce circuit, cette circulation continue dont nous avons signalé plus haut l'importance pour la salubrité des villes.

27. Eaux ménagères, eaux résiduaires, vidanges, eaux pluviales. — Les *eaux ménagères*, les eaux provenant des maisons, sont très chargées de substances chimiques ou organiques, et on aurait à en redouter la putréfaction, si elles n'étaient pas éloignées sans retard ; les eaux provenant des usines, souvent plus chargées encore de matières fermentescibles, doivent être écoulées au loin avec le même soin ; enfin, dans beaucoup de villes, on y réunit les déjections humaines, eaux-vannes et matières de vidange, et l'ensemble constitue les *eaux d'égout*, dont il importe de se débarrasser avec la plus grande rapidité.

A cet afflux relativement restreint et presque constant d'eaux impures, il faut ajouter l'apport essentiellement variable, au contraire, des *eaux pluviales*. L'eau de pluie est parfois recueillie, utilisée, pour les besoins domestiques ; mais, dans les villes, elle se charge de tant d'impuretés qu'on ne tarde pas à la considérer comme une eau nuisible ; et, partout où une distribution d'eau est établie, on cesse bientôt de faire emploi de l'eau de pluie, et l'on ne songe plus qu'à s'en débarrasser vite et sans peine.

Lorsque la pluie est abondante et que la masse d'eau tombée dans

1. *Essai sur les cloaques ou égouts de la Ville de Paris*, 1824. Préface.

un temps donné est considérable, il en résulte une sorte de torrent qui lave parfaitement toutes les surfaces qu'il parcourt, entraîne toutes les impuretés qu'il rencontre et concourt efficacement au nettoyage général ; lorsqu'elle tombe en moindre quantité, elle supplée du moins à l'arrosage, opère un lavage naturel des caniveaux, facilite le curage de tous les canaux destinés à l'écoulement des eaux nuisibles. La pluie doit donc être considérée comme un agent d'assainissement.

Mais, d'autre part, le débit des eaux pluviales, qui tombent pendant un orage sur une surface donnée, est tellement supérieur à celui des eaux impures que fournit une égale superficie, même dans les villes populeuses, que la nécessité d'écouler les eaux de pluie oblige à donner aux ouvrages destinés à l'assainissement des villes des dimensions bien supérieures à celles qui conviendraient pour l'écoulement des eaux résiduaires, des eaux-vannes et des eaux ménagères ; de sorte que, suivant les cas qui se présentent, suivant les circonstances, la pluie est considérée comme une précieuse ressource ou comme une gêne grave ; le plus souvent cependant on l'utilise pour l'assainissement des villes, et les ouvrages sont établis de manière à en assurer l'écoulement rapide par les mêmes canaux que les eaux impures.

28. Réseaux d'égouts. — L'écoulement des eaux de pluie et celui des eaux impures, rejetées sur la voie publique, doivent être assurés tout d'abord par la disposition donnée aux chaussées des rues : à cet égard, le système actuel des chaussées bombées au milieu, avec caniveau de part et d'autre et trottoirs surélevés pour la circulation des piétons, est bien supérieur à celui des anciennes chaussées à deux revers, avec ruisseau central. Les pentes longitudinales doivent être partout suffisantes pour qu'il n'y ait pas de stagnation, et qu'en un temps très court toutes les eaux parviennent aux bouches d'égout les plus voisines.

Elles tombent alors dans des canaux souterrains, où la température est peu différente de la température moyenne, et où elles se trouvent soustraites à l'influence de la lumière, de la chaleur, des causes les plus ordinaires de décomposition rapide.

Dans ces canaux ou *égouts,* les eaux, réunies sur une faible largeur et glissant sur une surface lisse, trouvent un écoulement plus facile, risquent moins de rencontrer à chaque instant quelque obstacle formant barrage, se trouvent soustraites à la vue et à l'odorat, et continuent, sans aucun inconvénient pour les rues, leur cheminement à travers la ville jusqu'aux points choisis pour leur déversement, points déterminés eux-mêmes de manière à les empêcher de nuire désormais à la salubrité publique.

Presque toujours toutes les eaux à éloigner, pluviales et autres, sont réunies dans les égouts, et un réseau unique de canaux souterrains est consacré à l'assainissement général. Mais depuis quelques années on a songé, particulièrement en Angleterre et en Amérique, à écouler sépa-

rément les eaux pluviales et les eaux vannes et ménagères, à créer, à cet effet, deux réseaux distincts de caractères très différents et comportant des ouvrages tout à fait dissemblables : le *separate system* se justifie par les considérations indiquées au paragraphe précédent sur le rôle des eaux pluviales.

29. Épuration des eaux d'égout. — L'assainissement obtenu par le fonctionnement d'un réseau d'égouts n'est pas toujours complet. Le plus souvent, les collecteurs aboutissent à une rivière, dont le courant est chargé d'entraîner au loin l'apport du réseau d'égouts, et où le mélange avec les eaux pures et l'oxydation naturelle finissent par détruire toutes les matières nuisibles.

Mais, lorsqu'il s'agit d'une agglomération très considérable, et que le cours d'eau est relativement peu important, l'oxydation n'est pas suffisante et la rivière est bientôt *polluée;* il s'y forme des dépôts suspects, il s'y produit des fermentations fâcheuses, les eaux deviennent impropres à tous les usages, les poissons y meurent, il s'en dégage des gaz, etc.

En pareil cas, la tâche de l'assainissement n'est pas terminée, et il appartient aux habitants de la ville de prendre les mesures nécessaires pour éviter l'empoisonnement du cours d'eau, qui serait bientôt nuisible à eux-mêmes et aux habitants des localités inférieures.

Alors interviennent les divers procédés d'*épuration* des eaux d'égout, qui soulèvent des questions délicates, fort discutées dans ces derniers temps, et qui doivent constituer, dans bien des cas, le complément nécessaire de tout grand système d'assainissement des villes.

CHAPITRE III

APERÇU HISTORIQUE

Sommaire :

§ 1er. *Monde ancien.* — 30. Généralités. — 31. Ancienne Égypte. — 32. Assyrie, Perse. — 33. Extrême-Orient. — 34. Le peuple hébreu et sa capitale Jérusalem.
§ 2. *Grèce antique.* — 35. L'eau chez les Grecs. — 36. Procédés d'alimentation. Modes d'emploi de l'eau. — 37. Lois et mesures de salubrité.
§ 3. *Époque romaine.* — 38. L'eau à Rome et dans le monde romain. — 39. Dispositions générales des distributions d'eau romaines. — 40. Principaux usages de l'eau à Rome. — 41. Assainissement dans l'ancienne Rome.
§ 4. *Moyen âge.* — 42. Invasion des barbares. Influence de l'église. — 43. Époque féodale. — 44. Lente réaction.
§ 5. *Temps modernes.* — 45. Époque de la Renaissance. — 46. XVIIe siècle. 47. XVIIIe siècle. — 48. 1re partie du XIXe siècle.
§ 6. *Époque actuelle.* — Importance actuelle des questions sanitaires. — 50. Distributions d'eau. — 51. Égouts. — 52. Épuration des eaux d'égout. Vidanges. — 53. Conclusion.

§ 1er

MONDE ANCIEN

30. Généralités. — D'après les documents parvenus jusqu'à nous, tous les peuples ont eu, dès la plus haute antiquité, une connaissance assez développée des lois primordiales de la salubrité publique.

Presque toujours, elles étaient présentées comme autant de préceptes religieux, et un certain nombre de pratiques du culte n'avaient d'autre objet que d'en imposer et d'en réglementer l'application. Les soins à donner au corps, les ablutions, les bains, sont prescrits par toutes les religions de l'antiquité.

Les sources, les fontaines, étaient placées sous la sauvegarde de la divinité, et très souvent des temples s'élevaient aux endroits mêmes où elles sortaient de terre ; l'oracle de Delphes, le temple d'Hiérapolis et même le temple de Salomon ont été établis auprès de sources naturelles.

Il n'est guère de lieu habité du monde ancien, dont l'histoire ait conservé le nom, où l'on ne retrouve d'après des documents certains la trace d'ouvrages spéciaux et souvent considérables soit pour la fourniture de l'eau potable, soit pour l'écoulement des eaux nuisibles. Et quelquefois la construction de ces ouvrages a été traitée dans des proportions si grandioses, dans de telles conditions de résistance et de durée, qu'ils ont survécu aux plus beaux, aux plus célèbres monuments de l'architecture antique, et marquent presque seuls la place d'une civilisation disparue ; les puits d'Héliopolis et d'Éphèse, qui existent encore, l'aqueduc de Carthage, que l'on a restauré, en sont des exemples remarquables.

La Mésopotamie et l'Égypte, ces berceaux de la civilisation, sont des contrées arides où les pluies sont peu fréquentes, les sources rares, le climat chaud et sec. Le besoin d'eau devait s'y faire d'autant plus vivement sentir que les moyens de se la procurer étaient plus malaisés ; aussi l'esprit d'invention s'y est-il exercé de bonne heure à la recherche de procédés artificiels pour le puisage, l'élévation, la mise en réserve de l'eau potable. On retrouve partout la trace de cette préoccupation ; à toutes les époques, les documents écrits, les faits historiques montrent l'importance attachée dans ces pays à la présence de l'eau : Abraham achète un puits à Abimelech ; Moïse fait jaillir l'eau vive du rocher aussitôt après le passage de la mer Rouge ; des sources jaillissantes se rencontrent dans les rêves des poètes, et Mahomet ne les oublie pas dans le paradis qu'il promet à ses fidèles.

Générale dans tout l'Orient, la préoccupation de l'eau se retrouve en Grèce et dans le monde romain, où tout ce qui en concerne l'usage a pris un si extraordinaire développement.

31. Ancienne Égypte. — La prospérité de l'ancienne Égypte reposait tout entière sur un régime hydraulique artificiel vraiment admirable, qui avait pour objet l'utilisation des crues du Nil et l'irrigation de sa riche vallée.

Ce sont sans doute les anciens habitants de l'Égypte qui ont imaginé les *réservoirs artificiels*, destinés à emmagasiner des masses d'eau considérables pendant les temps humides pour les utiliser ensuite en détail aux époques de sécheresse : ils ont construit des ouvrages gigantesques en ce genre ; le plus connu, sinon le plus grand de ces réservoirs, le lac Mœris, avait une superficie de plus de 12.000 hectares [1].

On leur doit aussi l'invention de divers types de *machines élévatoires*, qui servaient à remonter l'eau du Nil sur les deux rives pour les irrigations, et que les inscriptions hiéroglyphiques ont permis de reconstituer.

Les hommes qui avaient créé de toutes pièces ce merveilleux système de fertilisation de la vallée du Nil, savaient apprécier les services que

1. Deux pyramides, de 165 mètres de hauteur, dit-on, y servaient d'indicateurs de niveau.

l'eau peut rendre sous un climat brûlant, et devaient aussi pousser fort loin la connaissance des moyens de se la procurer artificiellement, de la capter, de la distribuer, de l'utiliser. On trouve auprès des pyramides de Gizeh des *puits* qui en sont sans doute contemporains. Le *puits de Joseph*, au Caire, remonte peut-être à une très haute antiquité, bien qu'il indique par ses dispositions un état fort avancé de la science hydraulique : il se compose de deux puits successifs de très grandes dimensions, creusés dans le roc, et reliés par une chambre intermédiaire où était placé un manège qui mettait en mouvement la machine élévatoire ; la nappe à laquelle le puits inférieur aboutit est à 90 mètres au-dessous du sol ! On considère comme à peu près certain qu'à l'époque des Pharaons les Égyptiens connaissaient l'usage des tuyaux en poterie et des conduites en plomb ; la *tête de lion*, si souvent employée comme décoration des orifices de puisage, est d'origine égyptienne.

L'hygiène, l'étude des lois et l'observation des règles de la salubrité étaient fort en honneur chez les prêtres de l'ancienne Égypte : c'est à eux sans aucun doute que Moïse a dû emprunter quelques-unes de ses prescriptions sanitaires. Le *scarabée*, si souvent reproduit sur les monuments égyptiens, semble avoir été l'emblème de la salubrité, et la déesse Isis était représentée tenant à la main la clé des écluses qui livraient passage aux eaux chargéees de fertiliser la vallée du Nil.

32. Assyrie, Perse. — Bien que l'on ait moins de documents relatifs aux connaissances hydrauliques des anciens peuples de l'Asie, il n'est pas douteux que les Assyriens et les Perses aient aussi poussé fort loin l'art des irrigations ; sur les bords de l'Euphrate, comme sur ceux du Nil, les engins destinés à l'élévation de l'eau étaient très répandus et c'est peut-être dans cette région que l'on doit chercher l'origine de la noria.

Le puits d'Assur, découvert au milieu des ruines de Ninive, remonte aux temps préhistoriques. Le lac ou réservoir artificiel, créé par la reine Nitocris, était si grand qu'il pouvait recevoir pendant 22 jours tout le débit de l'Euphrate. Pour l'arrosage des *jardins suspendus* de Babylone, l'eau de ce fleuve, élevée par une seule machine à 92 mètres de hauteur, était distribuée en pression par une canalisation métallique, et Sémiramis pouvait dire avec un légitime orgueil : « J'ai obligé les cours d'eau « à couler au gré de ma volonté, et ma volonté les a dirigés là où ils de- « vaient être utiles ; par eux j'ai rendu fertiles les terres desséchées. » Ninive et Babylone étaient pourvues de véritables réseaux d'égouts. L'emploi de l'eau pour l'entraînement des matières fécales paraît être originaire de l'ancienne Asie.

Les Perses avaient si bien compris la nécessité de protéger les fleuves contre certaines causes de contamination que leurs lois interdisaient d'y jeter des excréments humains.

33. Extrême-Orient. — Les peuples de l'Extrême-Orient ont su éga-

lement, dès les temps les plus reculés, se procurer par des moyens artificiels l'eau nécessaire à leurs besoins.

Les Chinois passent pour avoir été de tout temps fort habiles à creuser des puits de grande profondeur, et l'on croit qu'ils ont connu de bonne heure les puits artésiens.

Dans l'Inde, les puits et les étangs sont si répandus qu'on doit nécessairement en faire remonter l'origine à la plus haute antiquité. Lorsque les Anglais s'y sont établis, ils ont trouvé ces ouvrages par milliers : on a compté jusqu'à 53.000 étangs ou réservoirs artificiels dans la seule Présidence de Madras, et quelques-uns de ces réservoirs sont de proportions colossales : l'un d'eux couvre 20.000 hectares et a 48 kilomètres de tour. Dans la péninsule indienne et dans l'île de Ceylan, on rencontre des digues en terre barrant des vallées, dont les dimensions dépassent celles des plus grands ouvrages modernes du même genre.

La médecine indienne connaissait, dès l'époque des Védas, l'influence de l'eau sur la santé ; elle recommandait la propreté des habitations, celle des vêtements, et attribuait des propriétés curatives aux eaux pures en général et en particulier à celles du Gange, le fleuve sacré de l'Hindoustan.

34. Le peuple hébreu et sa capitale Jérusalem. — Mais chez aucun peuple de l'Orient on ne trouve un sentiment si juste et si profond et une application si complète des règles de l'hygiène et de la salubrité que chez le peuple hébreu.

Les lois de Moïse sont pleines de dispositions relatives à l'hygiène, et les Israélites les ont pendant de longs siècles religieusement observées.

Ils avaient compris la nécessité d'éloigner le plus rapidement possible des habitations toute matière organique en décomposition, et les matières fécales étaient emportées au loin et enterrées profondément dans le sol.

A toutes les époques, les Hébreux paraissent avoir hautement apprécié l'importance de l'eau, et l'on peut dire que l'eau joue un rôle considérable dans leur histoire ; c'est auprès d'un puits qu'Éliézer rencontre Rébecca, et la jeune fille descend les degrés qui aboutissent au niveau de l'eau pour y remplir sa cruche qu'elle va offrir à l'envoyé d'Abraham ; c'est dans un puits que Joseph est jeté par ses frères, et il en est retiré par les marchands madianites, sans doute au moyen du seau et de la corde qui faisaient nécessairement partie du bagage des caravanes. Le fameux puits de Jacob, où se désaltéra le patriarche, et qui est situé à Sichem, abreuve encore les pèlerins se dirigeant de la Galilée vers Jérusalem ; creusé dans le rocher, il n'a pas moins de 30 mètres de profondeur. Celui où le roi David étancha sa soif, entre Bethléem et Jérusalem, est encore fréquenté par les voyageurs.

Il n'y avait que deux puits à Jérusalem et une source à l'emplacement du Temple ; mais l'art avait suppléé à la nature, et l'eau de pluie

y était recueillie dans un grand nombre de citernes, d'étangs, de réservoirs à ciel ouvert ou creusés dans le roc ; on retrouve entre Bethléem et Hébron les traces des étangs de Salomon, vastes réservoirs d'où partait la conduite en pierre de $0^m,25$ de diamètre qui amenait l'eau dans le Temple, sur la montagne de Sion.

D'après le témoignage d'Eusèbe, l'eau coulait à flots à Jérusalem, et celle qui n'était pas utilisée dans la ville servait à l'arrosage des jardins.

On a retrouvé l'emplacement du Temple de Salomon et l'on a pu en reconstituer les dispositions générales, grâce à la découverte de tout le système de conduits souterrains qui le desservaient et qui, creusés dans le roc dur, ont échappé à la destruction. Les descriptions du Talmud se sont trouvées vérifiées, et il est hors de doute qu'un système complet d'assainissement et d'épuration par le sol fonctionnait à Jérusalem : le sang des sacrifices était conduit avec les eaux impures du Temple, et probablement aussi celles provenant de la ville, dans deux bassins successifs placés à des niveaux différents et reliés par un conduit souterrain ; dans le premier, se déposaient les matières solides qui étaient vendues comme engrais aux jardiniers de la vallée de Cédron ; dans le second, s'écoulaient les liquides qui servaient à l'irrigation des jardins royaux.

§ 2.

GRÈCE ANTIQUE

35. L'eau chez les Grecs. — Il faut probablement classer parmi les nombreux emprunts qu'ils ont faits aux civilisations, plus anciennes, de l'Asie mineure et de l'Égypte, le goût qu'ont toujours manifesté les Grecs pour une large utilisation de l'eau dans les habitations et les jardins : l'*Odyssée* mentionne déjà l'existence d'une double canalisation d'eau dans les jardins d'Alcinoüs ; c'est à Hercule, l'un des héros de la mythologie grecque, que la légende attribue l'invention des bains chauds ; les fontaines d'ornement, les cascades artificielles, les jets d'eau destinés à répandre la fraîcheur dans l'atmosphère étaient un luxe extrêmement apprécié des Grecs et des Orientaux.

Les sources leur apparaissaient comme sacrées ; ils n'en soupçonnaient pas l'origine et leur attribuaient volontiers des causes surnaturelles ; c'étaient soit des communications avec l'intérieur de la terre, soit des fissures par où s'étaient écoulées les eaux après le déluge de Deucalion : aussi les dérobaient-ils souvent à la vue des profanes, en les entourant d'édifices consacrés au culte des dieux.

L'eau était pour eux l'un des quatre éléments de la nature ; ils en appréciaient hautement les bienfaits et leurs poètes en chantaient les

louanges : on cite encore aujourd'hui l'expression de Pindare: ἄριστον μὲν ὕδωρ.

Bien qu'ils n'eussent aucun moyen d'analyse, les Grecs étaient parvenus à distinguer les qualités relatives des diverses eaux: Hippocrate attribuait à l'eau des marais et à l'eau dure une influence fâcheuse sur la santé, il recommandait même de ne pas boire l'eau conservée dans des citernes ; mais il préconisait l'usage des eaux saines et en particulier des eaux de sources.

36. Procédés d'alimentation. Modes d'emploi de l'eau. — Les puits étaient fort nombreux en Grèce, et c'est à Danaüs qu'on attribuait le mérite d'en avoir creusé le premier.

On a retrouvé en divers points les traces d'anciens aqueducs ; Hérodote donne quelques détails sur celui de la ville de Samos, qui aurait été construit par un architecte de Mégare nommée Eupalinos, et se composait d'un canal de $2^{m},46$ de large, en souterrain, sur une longueur de 1.295 mètres.

Divers types de *pompes* ont été employés par les Grecs. On trouve dans Hérodote la plus ancienne description connue de la *pompe aspirante,* réduite à un tuyau dans lequel se meut un piston plein. La *pompe élévatoire,* dont le piston est percé de part en part et muni d'un clapet, a été aussi en usage chez les Grecs; la plupart de leurs navires étaient pourvus de cet engin. Enfin Vitruve attribue à un Grec, Ctésibus, élève de Héron, l'invention de la *pompe foulante,* qui remonterait ainsi à l'an 150 avant Jésus-Christ, et aurait été tout d'abord construite avec deux corps et un réservoir d'air, comme notre pompe à incendie. Les corps de pompe étaient en bois, et les pistons le plus souvent en cuir.

Les Grecs savaient distribuer l'eau par le moyen de conduites en bois, en poterie, en plomb, munies de robinets en bois ou en métal.

Dans leurs maisons, l'usage des latrines était fort répandu; à défaut, on s'y servait de vases portatifs.

Les bains, qui avaient été considérés longtemps comme un luxe réservé aux riches, devinrent plus tard en Grèce un besoin populaire, et les établissements de bains y furent, à une certaine époque, très multipliés.

37. Lois et mesures de salubrité. — De nombreux documents établissent l'importance qu'attribuaient les Grecs à tout ce qui concerne la salubrité.

On n'en saurait trouver de preuve plus certaine et plus frappante que cette inscription authentique provenant du temple de Delphes où l'on peut lire les mots suivants : « Il est défendu de déposer des ordures sur « le sol consacré. » L'humanité, c'est triste à constater, n'a guère fait de progrès sous ce rapport depuis trente siècles, puisqu'il est encore utile d'inscrire la même prohibition en termes presque identiques sur la façade de nos monuments !

Les grands législateurs de la Grèce antique n'ont pas manqué d'édic-

ter des prescriptions relatives à la recherche et à l'usage de l'eau : Solon, notamment, a fixé le périmètre auquel devait s'étendre l'utilisation d'un puits public; au delà de ce périmètre, chacun devait creuser un puits pour son alimentation et à 2 mètres au moins des propriétés voisines; mais celui qui n'avait pas trouvé d'eau dans un puits à 20 mètres de profondeur avait le droit d'en puiser chaque jour l'équivalent de 54 litres chez son voisin.

Platon et Aristote considéraient l'un et l'autre une abondante alimentation en eau potable de bonne qualité comme une condition essentielle du maintien de la santé publique dans toute agglomération d'hommes; ils faisaient, en conséquence, un devoir à ceux qui étaient chargés de la chose publique d'apporter à cette question toute leur sollicitude.

§ 3.

ÉPOQUE ROMAINE

38. L'eau à Rome et dans le monde romain. — A Rome, l'emploi de l'eau à profusion et jusqu'au gaspillage, pour les usages publics et privés, devint un véritable besoin, à tel point que, pour capter la faveur populaire, il n'était pas de moyen plus sûr que de consacrer des sommes considérables à la construction d'ouvrages pour l'amenée, la distribution, l'utilisation de nouvelles eaux. Aussi les Romains n'ont-ils reculé devant aucune difficulté matérielle, aucun obstacle, aucun sacrifice pour se procurer de l'eau en abondance, et ils ont poussé si loin l'art de l'hydraulique qu'ils sont encore aujourd'hui l'objet de notre admiration : les types grandioses d'ouvrages qu'ils ont laissés, l'organisation remarquable de leurs services sanitaires font de l'ancienne Rome la ville classique des distributions d'eau et de leurs applications.

D'après le commentaire de Frontin, traduit en 1820 par Rondelet, Rome, sous Trajan, ne comptait pas moins de 9 aqueducs [1] d'une longueur totale de 443 kilomètres, avec 49.500 mètres d'arcades atteignant jusqu'à 32 mètres de hauteur, et 2.400 mètres de souterrains; ces aqueducs fournissaient 947.200 mètres cubes d'eau par jour, dont les deux tiers environ étaient consacrés aux usages publics et un tiers aux bains et autres usages privés. Déjà, sous Auguste, on distribuait à Rome $2^{m3},7$ d'eau par jour et par tête d'habitant, et l'on n'y comptait pas moins de 1.350 orifices de puisage et 591 fontaines d'ornement. Dans le courant d'une seule année, Agrippa fit établir 130 réservoirs et 105 fontaines. Sous le règne de Constantin, il y avait à Rome jusqu'à 34 aqueducs, 15 thermes et 856 bains publics.

Un nombre aussi prodigieux d'ouvrages divers affectés à l'usage de

1. Appia Claudia, Aniovetus, Marcia, Tepula, Julia, Virgo, Alsietina, Claudia, Anio novus.

tous implique une organisation très complète du service chargé d'en assurer le fonctionnement régulier. Au temps de la république, c'étaient les censeurs et les édiles qui en avaient la direction; sous l'empire, ce fut un haut fonctionnaire qui prit le titre de curateur. Les personnages les plus en vue ne dédaignèrent point cette charge; et Frontin, qui l'occupa pendant le règne de Néron et celui de Trajan, avait quitté pour devenir curateur des eaux le commandement supérieur d'une armée romaine en Bretagne.

On trouve encore la preuve de l'importance attachée par les Romains à tout ce qui concerne l'emploi de l'eau dans le luxe inouï qu'ils ont déployé à l'intérieur de leurs thermes, par exemple, où les mosaïques et les revêtements de marbre étaient d'un usage courant, et où l'on a rencontré des tuyaux et des robinets d'argent massif. Que dire de ces canalisations spéciales établies dans les théâtres pour rafraîchir les spectateurs au moyen d'une sorte de nuage de rosée? La salle à manger de Néron était pourvue d'une disposition analogue, et dans les fêtes les empereurs ou les plus riches patriciens ont souvent dépensé des sommes énormes pour mélanger les parfums les plus délicieux et les plus rares à cette rosée artificielle.

Les goûts et les usages des habitants de Rome se répandirent peu à peu dans les provinces et dans tout le monde romain; les ouvrages pour l'adduction de l'eau s'y multiplièrent, et l'on trouve encore un peu partout en Italie, en Grèce, en Espagne, en France, en Allemagne même, les restes souvent imposants d'anciens aqueducs romains. Parmi les plus célèbres, on peut citer en France l'aqueduc de Nîmes et le fameux Pont du Gard; en Espagne les aqueducs de Ségovie et de Séville. On a recueilli d'intéressants détails sur les aqueducs romains de Lyon et de Sens; Metz et Antibes sont alimentées par des dérivations romaines restaurées; et à Paris on a utilisé les restes de l'aqueduc d'Arcueil construit, au temps de la domination romaine dans les Gaules, pour alimenter les thermes de l'empereur Julien.

39. Dispositions générales des distributions d'eau romaines. — Les distributions d'eau romaines étaient, d'une manière générale, alimentées par des *dérivations*, et il ne paraît pas que les pompes et les machines élévatoires y aient joué un rôle tant soit peu important.

Mais, dans les travaux de dérivation, les Romains étaient passés maîtres.

Ils savaient faire des emprunts aux rivières et aux lacs, capter les sources naturelles et apparentes, découvrir et utiliser les nappes souterraines, créer des sources artificielles au moyen de véritables drains (*cuniculi*) que l'on rencontre encore de tous côtés autour de Rome.

Le mode d'établissement de leurs aqueducs indique une connaissance approfondie des lois de l'hydraulique; ils n'ont pas cessé, d'ailleurs, de faire des progrès dans l'étude de ces lois et les aqueducs les plus récents

ménagent mieux la pente, présentent des tracés plus savants que ceux de construction antérieure. La section des aqueducs n'est pas calculée, en général, d'après le débit ; elle semble plutôt déterminée par la condition de permettre la circulation à l'intérieur de l'ouvrage, sans doute en vue des réparations. Les matériaux mis en œuvre sont tantôt la pierre de taille, tantôt les moellons bruts ou les briques, tantôt le béton dont l'emploi finit par devenir de plus en plus fréquent ; dans les plus anciens aqueducs (Appia, Anio vetus, Marcia), la maçonnerie est à pierres sèches avec une sorte d'enduit intérieur, plus tard, le mortier se rencontre dans toute l'épaisseur des maçonneries. Pour franchir les vallées, les aqueducs sont portés le plus souvent par des rangées d'arcades à un ou plusieurs étages ; et parfois l'un des étages sert au passage d'une route ou d'un second aqueduc. Cependant les siphons n'étaient pas inconnus des Romains ; ainsi l'on a trouvé à Lyon des restes d'un siphon formé de tuyaux de plomb ; mais la situation topographique de Rome, dans une vaste plaine basse, à une distance médiocre de montagnes calcaires, devait leur faire préférer ces belles rangées d'arcades qui avaient, d'ailleurs, l'avantage de frapper les regards du peuple et de flatter la vanité des donateurs.

Les Romains paraissent avoir prisé surtout la *quantité* plutôt que la *qualité* des eaux dérivées. On a calculé que les ressources dont disposait l'ancienne Rome devaient atteindre 1.200.000 mètres cubes par 24 heures. On ne s'expliquerait pas la nécessité d'un aussi énorme débit, pour une population évaluée à 300.000 ou 400.000 habitants, si l'on ne devait admettre qu'une grande partie était perdue en route, soit par les fissures des aqueducs, soit par les fuites de la canalisation ; il n'en a pas moins fallu, à une époque où l'industrie était réduite à peu de chose, un développement tout à fait extraordinaire des usages de l'eau pour justifier l'adduction d'un volume aussi considérable. Mais il ne faut pas se dissimuler que la qualité des eaux amenées par les aqueducs était, en général, assez médiocre ; souvent elle arrivait trouble ou louche, et les bassins de dépôt établis à l'extrémité des dérivations ne parvenaient pas à la rendre limpide : cela n'avait pas d'inconvénient pour le nettoyage des voies publiques, l'alimentation des fontaines et des naumachies, le service des thermes et des bains. Quant aux eaux consacrées à la boisson, elles étaient, au contraire, choisies avec le plus grand soin, et, bien que ne possédant aucun procédé d'analyse, les Romains savaient fort bien distinguer et classer les diverses eaux suivant leur limpidité, leur sapidité, eur température ; ils ne se faisaient pas d'illusion sur les qualités alimentaires des eaux amenées dans leurs murs pour d'autres usages, et Pline l'Ancien, après s'être complaisamment étendu sur la splendeur des ouvrages qui conduisent à Rome de si imposantes masses d'eau, n'en déclare pas moins que l'eau de puits est la meilleure pour la boisson et d'un usage général.

Des bassins de dépôt, l'eau gagnait les *châteaux d'eau*, (castella, receptacula), qui étaient au nombre de 247 à Rome, d'après Frontin, et qui doivent être considérés surtout comme des organes de répartition (dividicula) : de là partaient les nombreuses conduites destinées à l'alimentation des édifices publics, des palais impériaux ou des concessions privées, toutes absolument distinctes et isolées, puisqu'il était rigoureusement interdit de faire aucun branchement sur une conduite publique. Les tuyaux étaient en plomb et présentaient une section en forme de poire qu'explique leur mode de fabrication : ils étaient obtenus par l'enroulement d'une feuille ou table de plomb, dont les deux extrémités étaient soudées à la partie supérieure.

Au temps de la république, les particuliers n'avaient droit qu'au trop-plein des bassins : seuls, quelques grands personnages pouvaient faire conduire l'eau jusqu'à leurs habitations. Sous l'empire, il devint possible d'obtenir des curateurs des concessions d'eau, toujours personnelles et viagères ; mais elles n'étaient d'abord accordées que comme une faveur en récompense de services rendus à l'État. Peu à peu elles se multiplièrent, et Frontin en compte 13.594 sur une seule dérivation. La quantité d'eau accordée à chaque concessionnaire était jaugée au moyen d'un tuyau d'une section déterminée sur 15 mètres de longueur ; l'unité était le *quinaire*, débit obtenu au moyen du module (calix), tuyau de bronze de $0^m,22$ de longueur et $0^m,023$ de diamètre environ, placé verticalement dans les réservoirs et s'ouvrant à $0^m,22$ au-dessous du plan d'eau.

Les matériaux nécessaires à la construction des ouvrages pouvaient être empruntés moyennant indemnité aux propriétés privées, sur lesquelles le *curator operis* avait, en outre, le droit d'établir gratuitement les passages destinés à en faciliter le transport.

L'entretien des ouvrages était confié à diverses catégories d'ouvriers, respectivement chargés de telles ou telles parties de l'ensemble : il y en avait 240 à Rome, au temps d'Agrippa ; sous Claude, on en comptait 700, les uns à la solde de l'État, les autres payés par l'empereur.

Des mesures sévères édictées à diverses époques avaient pour objet la protection des aqueducs : il était défendu de planter des arbres, dans les villes, à $1^m,60$ environ, dans les campagnes, à $4^m,80$ des conduites d'eau ; toute dégradation était punie d'une amende considérable ; d'après une loi de l'an 404, chaque once d'eau détournée devait être payée une livre d'or.

40. Principaux usages de l'eau à Rome. — Les *bains* ont toujours été en honneur à Rome, et c'est à l'alimentation des bains qu'était consacrée une grande partie de l'eau amenée par les dérivations. Le Tibre avait suffi à cet usage pendant les trois ou quatre premiers siècles ; on s'y baignait dans le voisinage du Champ de Mars. Plus tard, l'eau Appia Claudia vint alimenter une gigantesque piscine consacrée aux bains populaires. Le médecin de Cicéron paraît avoir contribué à introduire les usages les plus raffinés de l'hydrothérapie grecque ; bientôt, les bains

chauds apparurent et motivèrent la construction des thermes, où le luxe ne tarda pas à prendre un si remarquable développement. Les bains devinrent un lieu de réunion et de plaisir : les citoyens les plus riches et les plus influents y passaient une grande partie du jour ; on en a vu prendre jusqu'à sept bains dans une seule journée, et Pline a pu dire que, pendant six siècles, les bains ont constitué toute la médecine chez les Romains.

Les appareils publics de puisage, fontaines, bassins, étaient extrêmement nombreux à Rome, et en général ornés de sculptures, de statues de marbre ou d'airain représentant Jupiter Pluvius, le dieu égyptien Canope ou des figures allégoriques qui dissimulaient les tuyaux d'amenée et dont la bouche ou quelque autre partie du corps servant d'orifice laissait échapper la veine liquide. A Pompéi, à Herculanum, on a retrouvé un grand nombre de ces fontaines, et des peintures antiques montrent que l'on connaissait alors les jets d'eau verticaux ; dans les villas où les Romains déployèrent un luxe fastueux, les jardins étaient ornés de fontaines et de cascades ; ils se plaisaient à unir les combinaisons les plus surprenantes de l'hydraulique à la plus riche et à la plus artistique décoration.

Les temples, les théâtres, les camps établis aux abords de la ville impériale, étaient abondamment pourvus d'eau. Il y en avait aussi dans les cirques ; de nombreux bassins étaient consacrés à ces naumachies auxquelles le peuple romain prenait tant de plaisir que, pour ce seul usage, Auguste dériva l'eau Alsietina et Claude fit disposer des tribunes sur les bords du lac Fucin.

41. Assainissement dans l'ancienne Rome. — Les Romains connurent aussi la plupart des pratiques d'assainissement que comporte l'hygiène des villes. A une certaine époque, les ordures ménagères et autres déjections étaient recueillies dans des vases que l'on vidait chaque matin dans les rues où elles étaient régulièrement enlevées : malgré les défenses édictées depuis, s'il faut en croire Juvénal, cet usage s'était perpétué, et, de son temps, on profitait de la nuit pour commettre mainte infraction aux règlements.

Avant l'empire, les maisons romaines ont été pourvues de latrines : on en a retrouvé des spécimens à Pompéi et à Pouzzoles ; elles étaient souvent lavées par un abondant écoulement d'eau ; un usage bizarre et inexpliqué les faisait placer presque toujours dans le voisinage des cuisines. Dans les palais impériaux, on ne dédaignait pas d'employer le marbre à les orner.

Les latrines publiques furent aussi répandues à Rome ; on rapporte qu'elles étaient au nombre de 144 sous le règne de Dioclétien : elles étaient affermées aux foricarii, qui prélevaient une redevance sur ceux qui en faisaient usage.

On fait remonter à Tarquin l'Ancien la construction de la *cloaca maxi-*

ma, grand égout, destiné d'abord à assainir le Forum, et qui n'était sans doute qu'un ruisseau naturel recouvert d'une voûte. Terminé par Tarquin le Superbe, il devint le collecteur des eaux d'égout de l'ancienne Rome, et il subsiste encore aujourd'hui, en partie du moins, sans avoir cessé de remplir le rôle qui lui avait été assigné il y a 2.500 ans. Agrippa développa le réseau des égouts de Rome, et le perfectionna en faisant établir sept réservoirs destinés à produire des chasses pour l'entraînement des matières dans le Tibre. Dans ses lettres à l'empereur Trajan, Pline le Jeune, gouverneur de la province de Pont et Bithynie, traite à plusieurs reprises des questions relatives à l'établissement d'égouts ; il propose notamment, et l'empereur autorise la construction d'une voûte au-dessus d'un ruisseau devenu un véritable égout à ciel ouvert, le long d'une des principales rues de la ville d'Amastria.

§ 4.

MOYEN AGE

42. Invasion des barbares. Influence de l'église. — Dans la dernière période de la puissance romaine, les empereurs, absorbés par les luttes intestines et par la défense des frontières, cessèrent de prendre soin de ces ouvrages qui avaient été pendant longtemps l'objet de toute la sollicitude de leurs prédécesseurs. Lorsqu'ils eurent transporté à Byzance le siège du gouvernement, ils ne songèrent qu'à mettre la nouvelle capitale au niveau de l'ancienne, et Rome fut négligée.

L'arrivée des barbares en Italie au v^e^ siècle lui porta le dernier coup. Les nouveaux venus n'avaient évidemment que du mépris pour les raffinements de la civilisation romaine ; sous leur domination, les mœurs, les usages se transformèrent complètement : bientôt les thermes et les aqueducs ne furent plus que des ruines.

L'église chrétienne qui devint alors prépondérante, et qui, recueillant l'héritage intellectuel du monde romain, se fit la dépositaire de la science, de la littérature et des arts, laissa entièrement de côté les traditions sanitaires de l'ancienne Grèce et de Rome. Il semble même que les pratiques de l'hygiène aient été combattues et repoussées par elle comme un luxe impie. Ne vit-on pas des moines s'imposer l'imitation des ermites célébrés par saint Jérôme, et la pousser au point de ne changer de vêtements qu'une fois par an ?

43. Époque féodale. — Dès lors, l'usage de l'eau se trouva réduit à la satisfaction des besoins les plus impérieux, de ceux auxquels l'homme ne saurait se soustraire et qui sont antérieurs à l'état de société : « Pen-« dant plus de mille ans, dit le D^r^ Playfair non sans quelque exagération « sans doute, pas un homme en Europe n'a pris de bain. »

Du reste, le régime féodal, en supprimant la puissance et jusqu'à l'idée de l'État souverain, en ôtant aux villes toute indépendance, avait mis un obstacle absolu à l'exécution de tous grands travaux collectifs d'adduction d'eau ou d'assainissement. Chacun se trouva réduit à ses propres ressources, et dut se procurer soi-même, en allant naturellement au plus près, le peu d'eau qui est indispensable à la vie : on dut, comme l'homme des temps primitifs, se contenter de la puiser au cours d'eau le plus voisin, ou la demander aux puits creusés au voisinage immédiat des habitations.

Quant aux détritus, dont il fallait se débarrasser, souvent sans sortir de l'enceinte étroite d'un monastère ou d'un château fort, on apprit à en faire des dépôts dans quelque coin retiré. Les latrines des châteaux furent souvent placées au haut des murs extérieurs et en encorbellement, de manière que les matières puissent tomber directement dans le fossé. Vers le IX^e^ siècle apparut l'usage des *fosses* étanches et des puisards ou fosses sans fond : les *oubliettes*, de sinistre mémoire, n'étaient probablement pas autre chose. Les latrines furent alors installées au-dessus des fosses, quelquefois superposées, étage par étage, dans des tours spéciales.

Les conséquences de l'oubli profond dans lequel étaient tombés les principes de l'hygiène et la science sanitaire, si développée chez les Romains, ne tardèrent pas à être cruellement ressenties. Des maladies inconnues jusqu'alors, entre autres la lèpre et la peste noire, sévirent sous forme d'épidémies sur l'Europe entière : il a fallu de longs siècles et une nouvelle évolution dans l'histoire de l'humanité pour la débarrasser de ces fléaux, qui ont emporté, dit-on, plus du quart de la population d'alors.

44. Lente réaction. — Avec le réveil progressif des esprits, avec l'essor du pouvoir royal et l'émancipation des communes, qui eurent pour conséquence un certain développement commercial et industriel, commença un mouvement favorable au retour vers l'observation des lois de l'hygiène et de la salubrité publique. Mais cette réaction ne se produisit que peu à peu et ne se propagea qu'avec une extrême lenteur, limitée d'ailleurs par les ressources si restreintes des collectivités naissantes.

On se reprit à chercher à distance l'eau qu'on ne trouvait pas en assez grande abondance à proximité des centres habités ; çà et là, quelques sources furent dérivées, d'ordinaire au moyen de petites rigoles découvertes ou de conduites en bois ; puis on vit se créer au bord des rivières quelques systèmes élévatoires, composés de pompes grossières mises en mouvement par des moteurs hydrauliques.

C'est l'époque où Philippe-Auguste fit exécuter la première chaussée pavée à Paris, et où les moines de Saint-Laurent dérivèrent dans un aqueduc souterrain, qui existe encore, les eaux des Prés-Saint-Gervais ou des sources du Nord, au moyen desquelles on ne tarda pas à alimenter dans

Paris quelques fontaines publiques et un certain nombre de concessions particulières.

C'est aussi au XII^e^ siècle qu'il faudrait faire remonter, paraît-il, le forage des premiers puits jaillissants dans le comté d'Artois, d'où le nom de puits artésiens.

Au XIII^e^, Gênes fut alimentée par une dérivation de 8 kilomètres de longueur, et Londres vit établir la *grande conduite* qui amenait l'eau de Paddington au plus ancien réservoir de la Cité, celui de Westcheap, construit en maçonnerie et doublé de plomb.

§ 5.

TEMPS MODERNES

45. Époque de la Renaissance. — La tendance au progrès, qui a fait son apparition vers le XI^e^ ou le XII^e^ siècle, continue à s'accentuer et devient de plus en plus générale au commencement de l'époque moderne. Dans tous les pays de l'Europe, les mœurs se transforment : affinées par le mouvement général des esprits qui caractérise la période de la Renaissance, elles font naître des besoins nouveaux et provoquent l'exécution de travaux multiples dont on ne saurait méconnaître l'importance.

En Italie, les papes entreprennent la restauration de quelques-uns des aqueducs de l'ancienne Rome : l'Aqua Vergine, qui vint en 1568 alimenter 50 fontaines publiques ou privées, n'est autre chose que l'antique Aqua Virgo; et l'Aqua Felice est formée de la réunion des eaux Claudia et Marcia avec quelques sources de la région.

En Angleterre, les travaux d'adduction d'eau prennent de notables développements ; les conduites vont alimenter successivement tous les principaux quartiers de Londres; puis, en 1582, Pierre Maurice installe sous l'arche de rive du pont de Londres une machine élévatoire mue par une roue pendante et crée la première distribution d'eau à domicile au moyen de tuyaux en plomb.

Le système introduit à Londres par Pierre Maurice était déjà connu et pratiqué depuis quelque temps en Allemagne ; les brasseurs de Hanovre avaient, en 1527, établi des pompes mues par la force hydraulique ; Hambourg et Nuremberg avaient suivi cet exemple. Peut-être même faut-il faire remonter au XIV^e^ siècle les premières applications des moteurs hydrauliques à l'élévation de l'eau en Allemagne, car dès cette époque des associations s'y étaient formées pour l'adduction d'eau dans les villes (Pumpenbrüder Genossenschaften). Augsbourg, au XV^e^ siècle, était abondamment pourvue d'eau ; Ulm comptait 168 cabines de bains en 1489.

Paris, au XVI^e^ siècle, n'avait pas encore d'autres eaux que celles des

sources du Nord, mais on y voit apparaître alors les premières concessions d'eau à titre onéreux. Le ruisseau de Ménilmontant, qui se jetait autrefois dans la Seine à Chaillot, après avoir couru au pied des coteaux de la rive droite, était déjà converti en égout. Un arrêt du Parlement venait, en 1533, imposer aux propriétaires l'obligation d'installer une fosse d'aisances dans chaque maison.

46. Dix-septième siècle. — L'impulsion une fois donnée, le mouvement ne s'arrête plus et les progrès vont continuer, désormais, plus ou moins rapidement jusqu'à nos jours.

Au XVII[e] siècle c'est la France qui, au cours d'une période de grandeur et de prospérité inconnues jusqu'alors, entreprend les ouvrages les plus considérables et les plus remarqués. Henri IV fait établir sous la deuxième arche du Pont-Neuf les pompes de la Samaritaine, mues par une roue pendante, et destinées à l'alimentation du Louvre et du jardin des Tuileries. Louis XIII, ou plutôt sa mère, Marie de Médicis, dérive les eaux de Rungis qui alimentèrent autrefois les thermes de Julien et construit sur les substructions romaines l'aqueduc d'Arcueil, dont le nom sert à désigner la dérivation tout entière : 14 fontaines publiques reçurent les nouvelles eaux ainsi amenées à Paris. Enfin, Louis XIV, voulant avoir de l'eau à profusion sur le plateau aride où il construit Versailles, ne recule devant aucune entreprise, devant aucune dépense, pour atteindre son but: il fait établir par le Hollandais Rennequin cette machine de Marly, que l'on considérait alors comme une merveille, et dont les 227 pompes, par trois élévations successives, portaient l'eau à 162 mètres de hauteur ; d'autre part, il fait entreprendre, sous la direction de Vauban, la dérivation de l'Eure et l'aqueduc de Maintenon, qui ne devaient jamais être achevés, et il prodigue dans le parc de Lenôtre les bassins de marbre, les effets d'eau desservis par un énorme réseau de conduites en fonte et en plomb.

Paris n'avait encore, cependant, en 1670 que 400 à 500 mètres cubes d'eau à distribuer par vingt-quatre heures; la construction de la pompe Notre-Dame en porta le volume total à 1.400 mètres cubes environ; mais le service régulier n'en profita guère à cause du nombre considérable des concessions gratuites dont les édits royaux étaient impuissants à réprimer l'abus. On avait commencé à construire des égouts dans la capitale; mais la longueur totale n'en atteignait encore à la fin du siècle que 3 kilomètres environ. L'introduction de l'eau dans les cabinets d'aisances paraît dater de cette époque, et c'est vers 1660, dit-on, que l'usage en a été importé de France en Angleterre; néanmoins, d'après le témoignage de Viollet Le Duc, « le château de Versailles ne renfermait qu'un « nombre tellement restreint de privés que tous les personnages de la « cour devaient avoir des chaises percées dans leur garde-robe. »

A Londres, la distribution d'eau progressait aussi : la dérivation dite New River remonte à cette époque ; on y posait les premières bouches d'incendie, les premiers appareils de lavage. Néanmoins les installations

sanitaires y étaient encore bien imparfaites et la mortalité considérable au temps de la Révolution d'Angleterre.

47. Dix-huitième siècle. — Le XVIII[e] siècle est marqué par de grands progrès dans la construction des machines élévatoires : aux pompes plus ou moins grossières des temps antérieurs se substituent les premières pompes modernes *à double effet* (La Hire, 1716), les pompes *centrifuges* (Demours, 1732), les pompes *à plongeur* perfectionnées (Bramah, 1785), *le bélier hydraulique* (Montgolfier, 1797); en même temps apparaît *la machine à colonne d'eau;* enfin *la machine à vapeur*, rendue pratique par Newcomen en 1711, appliquée dès 1761 à l'élévation des eaux de la Tamise, et perfectionnée par Watt et Bolton, vient s'implanter à Paris en 1781. La première application des *filtres* en pierre poreuse et l'emploi des *ventouses* sur les conduites d'eau remontent à cette époque, où la science hydraulique, fort en honneur, a su préparer les nombreux perfectionnements qui devaient permettre au siècle suivant le prodigieux essor des travaux de distribution d'eau.

Plusieurs des grandes compagnies qui alimentent Londres ont été fondées au XVIII[e] siècle : Chelsea (1724), Lambeth (1785), Grand Junction (1798).

A Paris, le besoin d'un accroissement des ressources en eau potable, très vivement ressenti, a donné lieu, pendant de longues années, à des recherches nombreuses, à des projets divers, parmi lesquels on doit citer celui de la dérivation de l'Yvette, proposé par Deparcieux en 1762, étudié par Chézy et Perronet, et abandonné en 1782 pour une simple dérivation de la Bièvre, concédée à de Fer, et qui échoua en 1789. En 1777, les frères Périer obtinrent des lettres patentes pour l'établissement « de pompes et machines à feu propres à élever l'eau de la Seine », et créèrent, en 1781 et 1783, les deux usines de Chaillot et du Gros-Caillou. Si la Compagnie des eaux, organisée par eux, succomba sous l'effort de l'agiotage et les attaques passionnées de Mirabeau, leurs machines, du moins, du type de Watt et Bolton, ont survécu et contribué utilement, pendant soixante-dix ans, à l'alimentation de Paris. A la fin du XVIII[e] siècle, malgré la construction des pompes à feu, Paris disposait à peine de 10.000 mètres cubes d'eau par jour pour 600.000 habitants.

On n'y comptait guère, d'ailleurs, que 26 kilomètres d'égouts, reconstruits en partie par Turgot en 1755, avec réservoir de chasse rue des Filles-du-Calvaire. « Les vidanges étaient centralisées à Montfaucon, « et les bassins étagés des buttes Chaumont, toujours prêts à débor- « der, infectaient l'air des quartiers du nord et y gâtaient la nappe des « puits [1]. » Nulle part encore on n'avait réellement abordé ces questions

1. MILLE. *Assainissement*, p. 102.

d'assainissement, qui sont devenues aujourd'hui l'objet de tant de préoccupations, le point de départ de tant de travaux.

48. Première partie du dix-neuvième siècle. — A ce point de vue comme à celui des distributions d'eau, le commencement du XIX^e^ siècle n'a guère été que la continuation de la période précédente :

Suite des progrès dans la construction des machines élévatoires; nouveaux types de pompes, rotatives, différentielles, etc.;

Établissement de dérivations d'eau et surtout de systèmes élévatoires hydrauliques et à vapeur, en France, en Angleterre, en Allemagne, aux États-Unis, etc., etc.;

Nouvelles méthodes de filtrage et premières applications de la filtration en grand par l'emploi du sable (Compagnie de Chelsea à Londres. Simpson, 1839);

Perfectionnements dans la fabrication des tuyaux de fonte et généralisation de leur emploi en remplacement des anciennes conduites en bois ou en plomb;

Emploi des robinets-vannes; première apparition des compteurs d'eau.

C'est à peine si le problème de l'assainissement commence à se poser : on se borne, à Paris, à quelques prescriptions relatives à l'étanchéité des fosses fixes et à la translation de la voirie de Montfaucon à Bondy (1817); mais c'est seulement après le choléra de 1832 que l'on y aborde, pour la première fois, l'étude d'un système d'égouts suffisamment étendu, et que l'on crée le dépotoir de la Villette, sous la direction de MM. Emmery et Mary.

L'ouvrage le plus remarquable de l'époque est, sans contredit, le *canal de l'Ourcq*, dont l'idée, due à Riquet, l'auteur du canal du Midi, avait été reprise à la fin du XVIII^e^ siècle par l'ingénieur Brullée, et l'exécution décidée sous le Consulat (29 floréal an X), dans le double but d'alimenter Paris et d'ouvrir une nouvelle artère à la navigation. Les travaux, dirigés par Girard, et poursuivis avec activité de 1802 à 1814, furent interrompus alors pour être repris en 1823 par une compagnie concessionnaire. Ils n'ont été complètement achevés qu'en 1837.

§ 6.

ÉPOQUE ACTUELLE

49. Importance actuelle des questions sanitaires. — L'apparition du choléra en Europe a fixé l'attention sur les questions d'hygiène publique; l'accroissement énorme de la population dans les grands cen-

tres, conséquence fatale du développement des voies de communication, a donné à ces questions une importance qu'on ne leur avait pas encore reconnue, et il en est résulté un immense et universel mouvement dans la voie du progrès.

Des études approfondies ont bientôt été entreprises de toutes parts; des idées nouvelles se sont fait jour; puis des travaux remarquables, largement conçus et rapidement exécutés, sont venus apporter à ces idées la plus belle consécration pratique. L'opinion publique, frappée des résultats obtenus, s'est alors émue : l'alimentation et l'assainissement des villes font désormais l'objet de discussions intéressantes, parfois passionnées, toujours fécondes. La science, en portant ses investigations de ce côté, s'est enrichie de données nouvelles ; elle a découvert l'existence et défini le rôle des microbes, qui lui ont livré la clé de phénomènes jusqu'alors inexpliqués; puis les congrès d'hygiène sont venus contribuer à propager le mouvement commencé dans les grandes cités, et qui s'étend progressivement aux agglomérations de second et de troisième ordre.

C'est en Angleterre que ce mouvement paraît avoir pris naissance; c'est là du moins qu'il s'est révélé tout d'abord par des applications importantes et nombreuses, à la suite du Public Health Act de 1848. Mais les États-Unis, la France, n'ont pas tardé à y prendre part, et peu à peu il a gagné tous les pays civilisés, qui, entraînés successivement dans la voie nouvelle, rivalisent aujourd'hui d'efforts pour l'amélioration continue des conditions de la salubrité publique et de l'hygiène des villes.

50. Distributions d'eau. — L'eau en abondance est devenue pour les villes une impérieuse nécessité, et la consommation s'accroît dans des proportions inouïes, dépassant bien vite toutes les prévisions même les plus larges. Paris, qui disposait à peine de 15 litres d'eau par habitant au commencement du siècle, n'est qu'incomplètement desservi aujourd'hui avec plus de 200, et l'on n'hésite pas à y entreprendre des travaux considérables et fort coûteux pour obtenir un supplément d'alimentation indispensable. La dérivation de la Vanne, qui fournit, depuis 1874 au service privé, à Paris, 110.000 mètres cubes d'eau de source, en sus des 20.000 de la Dhuis, était déclarée insuffisante dès 1881, au bout de sept ans seulement! De même, à New-York, il n'a pas fallu plus de huit années pour démontrer que toutes les additions récentes destinées à augmenter la portée déjà considérable de l'aqueduc du Croton étaient loin de répondre à la totalité des besoins constatés, et l'on y poursuit activement l'exécution d'un nouvel aqueduc de capacité supérieure.

On ne compte plus les villes qui ont créé ou renouvelé leurs distributions d'eau, au prix d'énormes dépenses. Nombre d'entre elles ont dû faire exécuter à cet effet des ouvrages grandioses qui soutiennent aisément la comparaison avec ce que l'antiquité a laissé de plus remar-

quable. Il convient de citer la dérivation de la Durance, pour l'alimentation de Marseille, avec son bel aqueduc de Roquefavour, dû à l'ingénieur de Montricher; les dérivations de la Dhuis et de la Vanne, œuvre magistrale de Belgrand; les dérivations américaines du Croton et du Potomac; celle qui amène à Vienne les eaux des glaciers des Alpes Noriques; puis les colossales usines à vapeur établies sur la Tamise, en amont de Londres (14.000 chevaux-vapeur); la nouvelle machine de Marly et la grande usine hydraulique de Saint-Maur, qui ont servi de types à une foule d'installations du même genre dans toutes les parties du monde habité.

Inconnu dans la plupart des villes, il y a un quart de siècle, l'emploi de l'eau sur la voie publique pour le nettoyage des chaussées, caniveaux et trottoirs, pour la salubrité et l'assainissement, devient de plus en plus général. Paris, qui a pris l'initiative, et qui a une incontestable supériorité à cet égard, ne compte pas moins de 15.000 appareils de service public : bouches de lavage, d'arrosage à la lance, bornes-fontaines, bouches d'incendie, fontaines de puisage et d'ornement, etc.

En même temps, des exigences nouvelles ont surgi pour le service privé ; il ne suffit plus d'avoir l'eau dans chaque maison, il faut qu'elle parvienne à tous les étages, qu'elle soit partout à la portée de la main ; d'autre part, la consommation domestique réclame impérieusement des eaux limpides, pures, salubres, et l'on n'hésite pas à faire de gros sacrifices d'argent pour obtenir ce résultat. Les procédés de filtrage, qui se sont multipliés et perfectionnés, ne suffisent pas à défendre, contre la suspicion de plus en plus grande dont elles sont l'objet, certaines eaux recherchées et considérées comme excellentes il y a trente ans ; à Paris, l'eau de Seine est écartée de la maison et l'on y a substitué d'une manière générale des eaux de sources captées au loin et amenées par de longs conduits fermés entièrement et à l'abri de toute contamination ; à Vienne, on a complètement renoncé à l'eau du Danube ; Berlin vient de remplacer en partie l'eau de la Sprée ; à Londres même, l'eau de la Tamise filtrée n'est plus aussi en faveur auprès de l'opinion.

Le développement rapide des distributions d'eau a eu pour conséquence naturelle un progrès considérable dans la fabrication des tuyaux en fonte, que de nombreuses usines produisent couramment aujourd'hui jusqu'au diamètre de $1^{m},10$ et même de $1^{m},30$, et avec une longueur utile de 4 mètres. En même temps les appareils de toute espèce, qui trouvent leur emploi dans les services d'eaux, se sont multipliés et perfectionnés ; les compteurs d'eau, notamment, entrent dans la pratique et se répandent rapidement. Paris en compte près de 50.000 aujourd'hui. De nouvelles applications de l'eau en pression surgissent de divers côtés, distribution de force motrice, ascenseurs hydrauliques, etc.

51. Égouts. — Pendant que l'alimentation des villes s'améliorait si

rapidement, un mouvement plus remarquable encore se produisait en vue de leur assainissement.

Jusqu'alors, les villes les mieux dotées à cet égard comptaient quelques kilomètres d'égouts établis sans vues d'ensemble, construits d'une façon peu rationnelle, mal entretenus et rarement curés ; aucune, on peut le dire, pas même Paris, malgré les travaux importants exécutés depuis 1832, n'avait un véritable *réseau d'égouts* tel qu'on le conçoit maintenant.

En quelques années, l'immense superficie de Londres a été sillonnée de conduits souterrains établis d'après un plan d'ensemble admirablement étudié, et aboutissant à de grands collecteurs étagés qui, avec l'aide de puissantes usines de relèvement, ont été jeter à distance, dans la Tamise, toutes les déjections de la métropole britannique. C'est l'application la plus considérable du système qui a reçu le nom significatif de *Tout à l'égout*.

Presque en même temps, Belgrand traçait de main de maître les grandes lignes de l'assainissement de Paris, établissait le collecteur d'Asnières qui en constitue le grand émissaire, fixait les types si heureusement conçus, le mode de construction si rationnel et si économique des égouts de Paris, poursuivait l'exécution d'un magnifique ensemble de galeries partout accessibles, destinées à la fois à l'écoulement des eaux pluviales et ménagères, à la pose des conduites d'eau, au passage des fils télégraphiques, et en assurait le curage au moyen d'appareils remarquablement appropriés.

Les résultats obtenus ont été si merveilleux et si prompts que l'exemple donné par Londres et Paris a été immédiatement suivi dans la plupart des grandes villes ; partout, en Angleterre d'abord, puis sur le continent, on a entrepris l'établissement de réseaux d'égouts, malgré l'importance des sacrifices qu'il a fallu s'imposer à cet effet.

52. Épuration des eaux d'égouts. Vidanges. — Mais, comme la réunion de toutes les déjections d'une grande ville dans un égout collecteur a pour résultat d'accumuler sur un point une masse énorme de matières organiques en décomposition, et d'y créer un foyer d'émanations insalubres, une conséquence naturelle de la création des réseaux d'égouts a été de mettre à l'ordre du jour l'épuration ou l'utilisation des eaux chargées des détritus urbains.

A Londres comme à Paris, et dans bien des grandes villes, des essais ont été faits, divers systèmes préconisés et mis partiellement en pratique, sans qu'aucun ait encore reçu la sanction complète de l'expérience ; le problème s'est d'ailleurs compliqué et se présente sous des aspects différents, suivant les procédés employés pour l'enlèvement des vidanges, encore barbares trop souvent ; du moins, la question est posée, elle a été examinée sous toutes ses faces, et les discussions auxquelles elle a donné lieu l'ont éclairée d'une vive lumière : il est probable qu'elle ne tardera

pas à être résolue. Déjà Berlin, prenant les devants, vient de faire une application systématique d'un mode rationnel d'utilisation des eaux d'égout, et les premiers résultats obtenus semblent de nature à justifier les dispositions adoptées.

53. Conclusion. — Ainsi donc le progrès est général : la consommation de l'eau potable, cet agent précieux de l'assainissement des villes, augmente partout dans des proportions jusqu'alors inusitées, l'évacuation des eaux résiduaires, si nécessaire pour la salubrité des agglomérations urbaines, a été améliorée dans la plupart des grandes villes; et s'il reste à débarrasser les rivières d'afflux qui menacent d'altérer gravement la pureté de leurs eaux, les efforts que l'on fait de toutes parts pour y parvenir permettent d'espérer un succès prochain.

Au milieu de la révolution scientifique et industrielle qui sera l'éternel honneur du XIX^e^ siècle, ce ne sera pas un des moindres titres de gloire de notre époque d'avoir posé les bases de la science sanitaire moderne et d'en avoir résolument appliqué les principes.

DISTRIBUTIONS D'EAU

CHAPITRE IV. — *LES BESOINS*

CHAPITRE V. — *LES RESSOURCES*

CHAPITRE VI. — *RECHERCHE, EXAMEN ET CHOIX DES EAUX DESTINÉES A L'ALIMENTATION*

CHAPITRE VII. — *MODES DE CAPTATION ET DE PUISAGE*

CHAPITRE VIII. — *PROCÉDÉS EMPLOYÉS POUR L'AMÉLIORATION DES EAUX NATURELLES*

CHAPITRE IX. — *AMENÉE DE L'EAU PAR LA GRAVITÉ*

CHAPITRE X. — *ÉLÉVATION MÉCANIQUE DE L'EAU*

CHAPITRE XI. — *RÉSERVOIRS*

CHAPITRE XII. — *DISTRIBUTION GÉNÉRALE*

CHAPITRE XIII. — *SERVICE PUBLIC ; L'EAU SUR LA VOIE PUBLIQUE ET DANS LES PROMENADES*

CHAPITRE XIV. — *VENTE ET LIVRAISON DE L'EAU*

CHAPITRE XV. — *SERVICE PRIVÉ : L'EAU DANS LA MAISON*

CHAPITRE XVI. — *QUESTIONS LÉGALES ET ADMINISTRATIVES*

CHAPITRE XVII. — *EXEMPLES DE DISTRIBUTIONS D'EAU*

CHAPITRE IV

LES BESOINS

Sommaire :

§ 1er. *Quantité d'eau nécessaire pour l'alimentation des villes.* — 54. Indétermination du problème. — 55. Mode d'évaluation. — 56. Emplois divers de l'eau. — 57. Besoins correspondants. — 58. Consommation totale. — 59. Variations annuelles, hebdomadaires et diverses de la consommation. — 60. Pertes. — 61. Gaspillage. — 62. Augmentation progressive de la consommation. — 63. Calcul de l'alimentation nécessaire. — 64. Données statistiques.

§ 2. *Qualités de l'eau destinée à l'alimentation des villes.* — 65. Eau pour la boisson. — 66. Eau pour les usages domestiques. — 67. Eau pour le service public. — 68. Eau pour l'industrie. — 69. Substances utiles et nuisibles à la santé. — 70. Inconvénients que présentent quelques eaux propres à la boisson. — 71. Avantages que présentent certaines substances inutiles ou nuisibles à la santé. — 72. Pas de définition générale. — 73. Conclusion pratique.

§ 1er.

QUANTITÉ D'EAU NÉCESSAIRE POUR L'ALIMENTATION DES VILLES

54. Indétermination du problème. — La consommation de l'eau dans les villes est essentiellement variable, suivant les climats, les époques, les circonstances locales, les habitudes, etc. Ici, l'alimentation est assurée avec quelques litres d'eau par tête ; ailleurs, des centaines de litres sont gaspillés sans profit réel.

« Quoi de plus remarquable que de voir Amsterdam au premier rang « des villes d'Europe pour la propreté dans l'habitation, en ne distribuant « par jour, à ses 350.000 habitants, que 16.000 ou 18.000 mètres cubes « d'eau »[1], alors que la salubrité laisse bien à désirer dans la ville de Rome, qui reçoit 1.000 litres environ par habitant ? Sens voit, depuis des siècles, 100.000 mètres cubes d'eau couler chaque jour dans ses rues,

1. Couche. *Les Eaux de Londres et d'Amsterdam*, 1883.

et n'en a pas moins réalisé, il y a quelques années, un progrès considérable en créant une canalisation destinée à fournir 600 mètres cubes à une population de 12,000 âmes.

« On peut répandre dans une ville une grande quantité d'eau, faire « gonfler les ruisseaux de ses rues de manière à enlever les immondices « qui s'y rassemblent, sans que, en définitive, les besoins de ses habi- « tants soient parfaitement satisfaits...», et « avec beaucoup d'eau rendre « moins de services qu'avec une quantité infiniment moindre mieux dis- « tribuée. Là, comme ailleurs, l'intelligence, l'économie suppléent à l'abon- « dance. La question d'une quantité d'eau nécessaire pour une ville d'une « population déterminée ne comporte donc pas de solution exacte, et on « peut résoudre le problème de bien des manières différentes »[1].

55. Mode d'évaluation. — On évalue le plus souvent la quantité d'eau consommée ou distribuée dans une ville en divisant le nombre de litres fournis chaque jour par le nombre d'habitants, c'est-à-dire que l'on prend pour terme de comparaison la consommation ou l'alimentation totale par tête.

Il n'est cependant pas absolument rationnel d'admettre comme base unique de calcul le chiffre de la population. Dans bien des cas, en effet, l'usage que l'on fait de l'eau n'est pas proportionnel au nombre d'habitants ; s'il en doit être ainsi, jusqu'à un certain point, pour la consommation domestique, ce serait plutôt d'après la superficie qu'il conviendrait de comparer les quantités d'eau employées dans les jardins ou sur les voies publiques, et il faudrait recourir à des données tout autres encore pour juger de l'importance relative des consommations industrielles.

On doit remarquer, du reste, que la dépense est nécessairement très différente, suivant que l'eau est mise à la portée même du consommateur, dans l'intérieur de l'habitation, à tous les étages, ou qu'il est obligé d'aller la puiser à distance, soit dans la cour, soit à la borne-fontaine de la rue. La proportion du nombre d'abonnés, celle des logements distincts par maison, celle des habitants par logement, doivent influer beaucoup aussi sur l'importance de la consommation générale dans toute distribution d'eau.

Quoi qu'il en soit, et sous réserve des observations qui précèdent, il faut se conformer à un usage désormais consacré, et c'est au chiffre de la population que seront rapportées toutes les indications de quantités d'eau qui vont être données ci-après.

56. Emplois divers de l'eau. — Pour arriver à se rendre compte d'une façon plus ou moins approximative de la quantité d'eau à distribuer dans une ville, il convient d'énumérer les usages divers auxquels il y a lieu de satisfaire.

Or, l'eau est utilisée dans la *maison*, dans la *rue*, dans les *usines*. Une

1. Dupuit. *Conduite et distribution des eaux.*

distribution d'eau n'est complète que si elle assure le *service privé*, le *service public* et le *service industriel*.

Pour le service privé, la ration d'eau douce accordée aux matelots ou aux passagers, sur les navires en mer, va nous indiquer le minimum absolu nécessaire à la vie de l'homme adulte : cette ration varie généralement entre 4 et 6 litres par jour pour les matelots ; elle est de 4 litres environ pour les émigrants sur les paquebots allemands ou anglais, et l'on admet que 2 litres doivent être consacrés à la boisson. Entre le minimum ainsi déterminé et la consommation de la maison moderne, surtout en Angleterre ou aux États-Unis d'Amérique, il y a un écart énorme, puisque, dans les villes très largement alimentées, cette consommation atteint et dépasse 100 litres. Rien n'est plus susceptible, en effet, de variation que l'emploi de l'eau dans l'habitation, et la petite quantité d'eau nécessaire pour étancher la soif n'est, le plus souvent, qu'une fraction insignifiante de la consommation totale. A la fois élément de propreté pour le lavage des personnes, des vêtements, des ustensiles et des matières premières de l'alimentation, agent d'assainissement pour l'entraînement rapide des détritus, matière indispensable à la cuisson des aliments et à l'entretien des jardins, objet de luxe quand elle alimente les fontaines d'ornement et les effets d'eau ou actionne les ascenseurs, l'eau se prête à mille services divers qui peuvent être plus ou moins développés, suivant les circonstances, le climat, la densité de la population, ses mœurs, sa richesse, etc., d'où les différences constatées d'une ville à l'autre et les divergences dans les appréciations des auteurs.

On sait que la consommation est plus considérable dans les grandes villes que dans les petites, dans les quartiers riches que dans les quartiers pauvres ; s'il faut en croire le colonel Bolton, inspecteur des eaux de Londres, il n'est rien qui l'excite autant que la facilité avec laquelle on se procure de l'eau, et, dans une ville bien drainée, avec des maisons pourvues d'aménagements complets, salles de bains, water-closets, postes d'eau, etc., elle ne connaît d'autres limites que celles qui résultent de la dépense ou de la réglementation.

Le service public comprend le lavage des ruisseaux en toute saison, l'arrosage des chaussées, trottoirs et contre-allées pendant les chaleurs, l'entretien des jardins publics, l'alimentation des fontaines de puisage et d'arrosement, le service des incendies. On conçoit également que ses besoins ne puissent être appréciés d'une manière générale, car ils doivent varier avec l'étendue relative des voies publiques, leur largeur, le mode de revêtement des chaussées, la quantité de pluie, les exigences plus ou moins grandes de la population, etc. Mary admettait que le service public, à Paris, devait absorber 20 à 25 litres par habitant ; il indiquait encore ce chiffre, en 1868, dans son cours à l'École des ponts et chaussées : on y consacre près de 100 litres aujourd'hui. Il est vrai de dire

qu'aucune autre ville n'a poussé aussi loin jusqu'ici l'emploi de l'eau sur la voie publique ; beaucoup ne dépensent pas plus de 10 à 20 litres par jour et par habitant pour l'ensemble des services de la rue ; à Londres, la consommation correspondante est inférieure à ce dernier chiffre.

Pour le service industriel, les écarts sont naturellement plus grands encore : presque nul dans certaines villes, ce service peut devenir prépondérant ailleurs, et l'on ne saurait à cet égard donner aucune indication générale. C'est une étude particulière à faire dans chaque cas. Observons seulement que l'eau intervient dans l'industrie de plusieurs manières : tantôt elle ne sert qu'aux lavages, tantôt elle est employée comme dissolvant ou comme véhicule des matières utilisées dans les diverses opérations (sucreries, raffineries, teintureries, tanneries, etc.), tantôt elle devient elle-même une matière première entrant dans la composition des produits fabriqués (eaux minérales artificielles, brasseries, etc.). Dans les machines à vapeur, elle est l'agent nécessaire à la production de la force motrice, quelquefois enfin elle est employée en pression et fournit elle-même une force motrice d'un autre genre.

57. Besoins correspondants. — *Service privé.* — Les chiffres élémentaires admis à Paris pour l'évaluation de la consommation privée ont été fixés comme suit, par arrêtés préfectoraux du 9 mars 1863 et du 7 juin 1864 :

Par jour et par personne domiciliée	45	litres.
Par jour et par ouvrier	5	—
Par jour et par élève ou militaire	20	—
Par jour et par cheval	100	—
Par jour et par vache	100	—
Par jour et par voiture à 2 roues	40	—
Par jour et par voiture à 4 roues de luxe	150	—
Par jour et par voiture à 4 roues de louage	75	—
Par jour et par mètre carré d'allée, cour	6	—
Par jour et par boutique	150	—
Par jour et par mètre carré de gazon, allées de jardin, potager, massif de fleurs :		
de 1 000 à 2.000 mètres	3	—
de 2.000 à 5.000 mètres	2	—
de 5.000 à 10.000 mètres et au delà	1	—
Par bain	300	—

A Londres, en 1850, MM. Haywood et Simon admettaient que la consommation des personnes variait suivant la condition plus ou moins aisée des habitants, entre 55 litres et 15, et qu'elle était en moyenne de 30. Depuis elle a augmenté sans nul doute, et M. W. Humber, dans un traité sur les distributions d'eau, paru en 1876, admet que, pour satisfaire à tous les besoins des personnes, il faut 45 litres d'eau par tête, à la condition qu'il n'y ait pas de pertes ou de gaspillage. M. Rankine demande de 40 à 70 litres.

En Allemagne, MM. König et Poppe admettent les bases suivantes :

Par jour et par personne	25 litres.
Par jour et par cheval	75 —
Par jour et par voiture à 2 roues	40 —
Par jour et par voiture à 4 roues	70 —

Darcy comptait déjà, en 1856, qu'une ville devait consacrer à la totalité des besoins du service privé 90 litres par jour. Il ne paraît pas que cette évaluation, alors fort large, doive être quant à présent sensiblement dépassée.

M. Fanning, dans son traité sur les distributions d'eau, qui a paru à New-York en 1882, ne demande pas plus pour les villes des États-Unis, où cependant la consommation dans la maison est si développée.

Service public. — Le désaccord est plus grand pour le service public. M. W. Humber ne demande que 5 litres par tête d'habitant, et M. Rankine 15 pour le lavage des rues, le curage des égouts et le service des incendies dans les villes anglaises. M. Grahn, d'après une statistique faite sur les 80 villes les plus importantes de l'Allemagne, trouve que la dépense d'eau du service public n'y dépasse pas 11 litres. M. Fanning admet pour les États-Unis une consommation de 15 à 20 litres pour les fontaines de puisage et d'ornement, un demi-litre pour les incendies, et 45 litres pendant un tiers de l'année pour le lavage et l'arrosage des rues, soit en moyenne 30 à 65 litres.

A Paris, la dépense moyenne dépasse 80 litres et peut aller jusqu'à 100 : on y lave en toute saison les caniveaux deux fois par jour au moins, et cela dans toutes les rues sans exception ; on arrose abondamment les chaussées fréquentées pendant six mois de l'année et l'on emploie jusqu'à 6 et 7 litres par mètre carré à cet usage ; tous les urinoirs publics sont lavés jour et nuit par un courant d'eau ; les jardins publics sont luxueusement entretenus, les fontaines publiques sont nombreuses et bien alimentées, etc.

Les bouches de lavage sont réglées, à Paris, de manière à débiter $1^{lit},75$ par seconde. On peut admettre qu'une borne-fontaine doit débiter un demi-litre à 1 litre, une bouche d'incendie ordinaire 2 à 5 litres et pour pompe à vapeur 10 à 30 litres.

Pour donner une idée du débit des fontaines monumentales, voici quelques indications au sujet des plus connues parmi celles qui existent à Paris :

Fontaine Saint-Michel	44 litres par seconde.
— de la place du Châtelet	20 —
— des Innocents	37 —
Fontaines de la place du Théâtre-Français (chacune)	18 —
— de la place de la Concorde (chacune)	50 —

Jet d'eau du grand bassin des Tuileries.....	25	litres par seconde.
Gerbe du Palais-Royal.....	25	—
— de la place Soufflot.....	25	—
— de la place de la Nation.....	120	—
— de la place du Trocadéro.....	240	—
— Cascade du Parc de Montsouris.....	15	—
— Grande cascade des Buttes-Chaumont.....	80	—
— Cascade et effets d'eau du Trocadéro.....	400	—

On ne dépense pas moins de 18.000 à 20.000 mètres cubes d'eau par jour à Paris pour le service des fontaines d'ornement alimentées en eau de l'Ourcq, qui cependant fonctionnent seulement de 11 heures du matin à la nuit ; c'est 9 litres environ par habitant. Les dimanches et jours de fêtes, la dépense s'augmente du débit des fontaines alimentées en eau de rivière et atteint 35.000 mètres.

Service industriel. — Pour l'évaluation des consommations industrielles nous indiquerons seulement les chiffres élémentaires suivants :

Machines à vapeur :		
par cheval et par heure.....	20 à 35	litres.
— avec condensation.....	200 à 800	—
Brasseries :		
par litre de bière.....	4	—

M. W. Humber compte de 6 à 45 litres par tête pour la totalité des consommations industrielles dans une ville anglaise ; M. Rankine 30 ; M. Grahn admet, pour l'Allemagne, que le service industriel absorbe en moyenne un quart de la consommation totale ; aux États-Unis, M. Fanning indique de 20 à 60 litres.

58. Consommation totale. — L'ensemble des besoins d'une ville était évalué par Darcy, en 1865, à 150 litres par habitant.

Dans des livres récents, on trouve encore des chiffres peu différents : M. W. Humber donne comme limites inférieures et supérieures de la consommation totale des villes anglaises 70 litres (Norwich) et 240 litres (Glasgow) ; MM. König et Poppe indiquent précisément encore la consommation de 150 litres comme une excellente moyenne pour les villes d'Allemagne, et il résulte d'un relevé statistique fait par M. Grahn, sur 80 villes choisies parmi les plus considérables de ce pays, qu'en 1875 on n'y dépensait pas plus de 63 litres. Pour les États-Unis, où l'usage de l'eau dans les maison est plus général, M. Fanning demande de 140 à 250 litres.

Mais il convient de remarquer que tous ces chiffres se rapportent à la *consommation réelle* et à la *moyenne* de cette consommation dans l'année. Aussi, serait-ce commettre une erreur grave que de croire les besoins d'une ville entièrement satisfaits, le jour où elle serait pourvue d'une *alimentation* qui ne lui assurerait pas un débit journalier notable-

ment supérieur. Toute distribution doit être conçue de manière à parer aux *variations* inévitables de la consommation, ainsi qu'aux *pertes* de la canalisation et au *gaspillage*, qu'il est impossible de supprimer entièrement. Ce sont là trois éléments dont il faut tenir soigneusement compte dans les études relatives à l'alimentation des villes.

59. Variations annuelles, hebdomadaires et diurnes de la consommation. — En dehors, en effet, des différences que l'on constate dans la consommation d'eau d'un pays ou d'une localité à l'autre, et qui s'expliquent par les conditions climatériques ou les habitudes diverses de la population, il en est d'autres qui se produisent dans chaque localité suivant les époques de l'année, les jours de la semaine, les heures de la journée.

Les variations *annuelles* sont dues, surtout, aux changements de température dans les diverses saisons : la chaleur surexcite la consommation en général, le froid la ralentit. Cela est si vrai que, lorsqu'on recherche la loi de ces variations et qu'on la compare à celle des températures, on est souvent frappé de leur analogie. Sur le diagramme ci-contre, on a tracé deux courbes qui représentent, l'une un relevé fait sur 250 compteurs pris au hasard dans Paris, pendant l'année 1884, et l'autre les oscillations du thermomètre durant cette même année ; le quasi parallélisme des deux courbes n'est-il pas remarquable ?

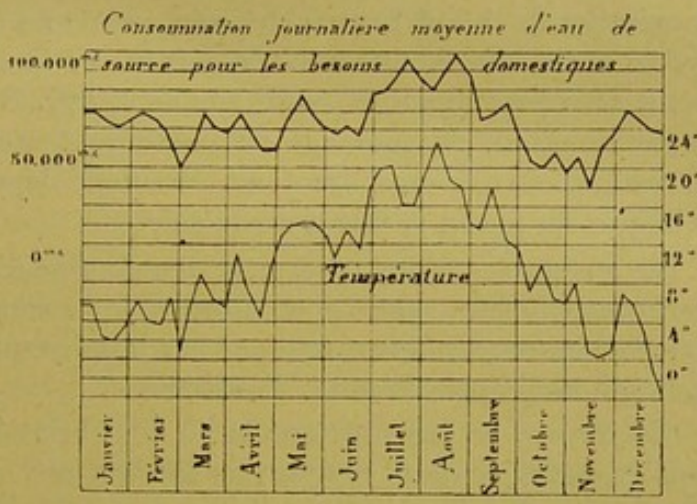


Fig. 1.

L'amplitude des variations annuelles est évaluée, par MM. König et Poppe, à 7 0/0 ; par M. Fanning, à 17 0/0 de la consommation moyenne, tantôt en plus, tantôt en moins ; ce dernier ajoute que la consommation peut augmenter de 30 0/0 pendant quelques semaines, de 50 0/0 pendant plusieurs jours, de 100 0/0 pendant quelques heures dans le courant de chaque année. M. Couche, ingénieur en chef des eaux de Paris, a démontré qu'au mois de juillet 1881, le service privé a momentanément absorbé, durant quelques journées de chaleur, trois et quatre fois la quantité d'eau qui lui suffit d'ordinaire. Or, si l'on remarque que certaines sources d'alimentation ont elles-mêmes un débit variable, suivant les époques de l'année, de telle sorte que le minimum de l'alimentation peut correspondre au maximun de la consommation, on comprendra aisément l'importance qu'il faut attacher

aux variations annuelles, dans l'évaluation des quantités d'eau nécessaires pour une distribution d'eau.

Les variations *hebdomadaires* doivent être attribuées aux habitudes de la population. De tout temps, à Paris, on a constaté que les premiers jours de la semaine correspondent à une consommation plus faible, et les derniers à une consommation plus élevée. De même, la diminution résultant de la fermeture des ateliers le dimanche compense, et au delà, l'excédent de la dépense faite pour le service des fontaines monumentales. M. Fanning indique une amplitude de 10 0/0 en plus ou en moins pour les variations hebdomadaires.

Quant aux variations *diurnes*, elles résultent nécessairement de la plus ou moins grande activité de la consommation, suivant les heures du jour et de la nuit. Presque toujours, il se produit un maximum entre 7 heures et 10 heures du matin, un minimum vers midi, un second maximum de 4 à 6 heures du soir, puis une diminution continue jusqu'au second minimum, vers le milieu de la nuit. M. Fanning indique pour ces variations une amplitude de 37 0/0. D'après M. Wolffhügel, la consommation, au moment du maximum, atteindrait le double de la moyenne, et elle serait des deux tiers de la dépense totale du jour, entre 8 heures du matin et 6 heures du soir.

Les réservoirs et les tuyaux de distribution d'eau doivent se prêter aux variations hebdomadaires et diurnes de la consommation, et il faut les calculer en conséquence, non pas sur la moyenne, mais en vue du maximum de la quantité d'eau à distribuer.

Observons, en passant, que la loi des variations annuelles ou horaires doit être étudiée dans chaque cas spécial, car elle diffère très notablement d'une distribution d'eau à une autre. C'est ainsi, par exemple, que dans les pays froids il se produit fréquemment un maximum de consommation au plus fort de l'hiver, parce qu'on a soin de maintenir alors de petits écoulements dans tous les appareils, pour éviter la congélation.

60. Pertes. — Il n'y a pas de distribution où il ne se produise des pertes, dues à l'imparfaite étanchéité de la canalisation et des appareils. Quelque soin que l'on apporte au réseau des conduits publics, à quelque surveillance qu'on soumette les installations privées, il est impossible de les éviter. On ne connaît pas de système de joint qui résiste indéfiniment à la pression de l'eau, point de robinets ou d'appareils qui ne s'usent; au bout d'un temps plus ou moins long, des filets d'eau s'échappent çà et là par les fissures des joints et le jeu résultant de l'usure dans tous les appareils en vient à livrer passage à de petits écoulements, insignifiants s'ils sont isolés, mais qui, vu leur nombre, finissent par prendre de l'importance.

Le contrôle le plus sévère, l'emploi des types les plus perfectionnés,

l'entretien le plus minutieux ne peuvent que réduire les pertes — et il y a moyen d'obtenir à cet égard des résultats fort intéressants — mais jamais les supprimer entièrement.

« Il est généralement admis, dit le professeur Nichols [1], par les per-« sonnes chargées des distributions d'eau, que les pertes atteignent 25 à « 50 0/0 de la quantité d'eau dépensée. »

61. Gaspillage. — Le *gaspillage*, c'est-à-dire l'emploi de l'eau sans but et sans utilité, est extrêmement fréquent: un cantonnier qui laisse une bouche d'eau ouverte, et ne profite pas du courant d'eau qui s'en échappe pour laver le caniveau correspondant, commet un gaspillage impardonnable; gaspillage encore le calage d'un robinet, pratiqué afin d'obtenir un écoulement continu, soit en été sous prétexte de rafraîchir l'air, soit en hiver pour prévenir la gelée; gaspillage l'ouverture permanente des effets d'eau dans des établissements, tels que les écoles, où une population nombreuse s'agglomère pendant le jour, mais qui sont déserts pendant la nuit. Sans doute, il faut répandre l'eau à profusion, et il serait contraire aux principes les plus élémentaires de l'hygiène d'en limiter l'usage; mais, comme il n'est point de ville qui dispose d'une alimentation indéfinie, et qui puisse se procurer de l'eau sans dépenses presque toujours considérables, on ne peut nulle part tolérer que l'usage dégénère en abus.

L'introduction du *compteur*, qui enregistre l'eau à son passage et permet de proportionner la redevance à la quantité consommée, suffit le plus souvent pour donner à cet égard d'excellents résultats. Berlin, Breslau, où les compteurs sont d'un usage général, ne consomment que 75 à 90 litres; Francfort, Magdebourg, Dusseldorf, avec le robinet libre, 140 à 220 (Wolffhügel). A Paris, le gaspillage prenait, il y a quelques années, un développement inquiétant; l'emploi des compteurs a si bien réussi à l'enrayer que, depuis lors, sans avoir rien ajouté à l'alimentation du service privé, on a pu satisfaire sans peine aux besoins constamment croissants de la consommation.

62. Augmentation progressive de la consommation. — C'est un fait observé dans toutes les distributions d'eau modernes, que la consommation augmente sans cesse et suit une marche beaucoup plus rapide que l'accroissement de la population.

Il résulte du diagramme ci-après (*fig.* 2) relatif à Paris, que, dans une période de vingt ans, la consommation moyenne totale, par jour, a passé de 114.000 mètres cubes à 374.000, tandis que la population s'est accrue de 1.696.741 habitants à 2.269.023. Elle a plus que triplé, pendant que la population augmentait de 34 0/0 seulement. L'eau était employée à raison de 67 litres par tête, en 1861, et l'on en a consommé 165 en 1881.

1. *Water Supply*. New York, 1883, p. 195.

D'après M. Fanning, à New-York, la consommation par habitant a augmenté en dix ans de 70 0/0, à Louisville, Chicago, Brooklyn, Cleveland, de 100 0/0.

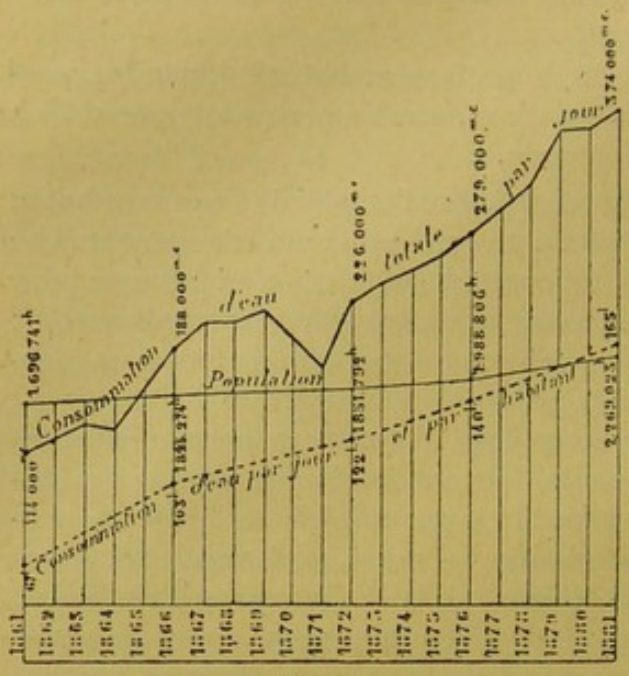


Fig. 2.

On conçoit, en effet, que, lorsqu'une distribution d'eau est récente, les anciens moyens d'alimentation continuent de fournir de l'eau pendant un certain temps, que les habitudes de parcimonie, motivées par la difficulté avec laquelle on se procurait l'eau antérieurement, ne s'effacent pas immédiatement : ce qui est considéré d'abord comme un luxe devient peu à peu un besoin pour les classes riches, puis pour la population entière; enfin, des usages nouveaux surgissent, grâce à la facilité et à l'économie que l'on trouve à les satisfaire par l'emploi de l'eau.

« Lors donc qu'on projette une distribution d'eau, il faut tenir compte « dans une juste mesure des besoins présents et des besoins à venir. » (Dupuit.)

63. Calcul de l'alimentation nécessaire. — Suivant qu'on se préoccupe plus ou moins des diverses causes de variation et de majoration qui viennent d'être signalées, suivant qu'on se propose de satisfaire aux besoins immédiats ou à ceux d'un long avenir, on se trouve naturellement conduit à admettre des chiffres sensiblement différents pour l'alimentation des villes. De là, des divergences importantes dans les évaluations des auteurs.

D'autre part, on ne doit pas oublier que la consommation, par habitant, est toujours plus élevée dans une très grande ville que dans une ville de second ordre, et dans celle-ci que dans une petite ville. L'ingénieur allemand Salbach compte 50 à 100 litres pour les agglomérations de moins de 5.000 habitants, 120 au delà; 150 à 200 litres pour les villes importantes.

M. Fanning demande, pour l'alimentation des villes de 10.000 habitants, 140 à 200 litres par tête; pour celles de 20.000, 170 à 230; de 30.000, 200 à 280; de 50.000, 250 à 320; de 75.000 et au-dessus, 260 à 450.

En France, on admet encore généralement que 200 à 250 litres, par tête, suffisent pour une large alimentation. Mais déjà Marseille et Car-

cassonne ont dépassé ce chiffre; il est devenu trop faible pour Paris, et Lyon demande 400 litres.

En Angleterre, M. W. Humber ne paraît pas réclamer une alimentation plus abondante.

M. Grahn a trouvé qu'en 1875 l'alimentation moyenne des 80 villes les plus importantes de l'Allemagne était de 179 litres. MM. König et Poppe pensent qu'une bonne distribution d'eau doit compter 150 à 170 litres, dont 25 en eau destinée à la boisson. M. Bürkli demande de 135 à 270 litres.

« Lorsque le service public, » dit M. Huet, « aura pris dans les villes « d'Angleterre le développement qu'il a dans les principales villes de « France, et que, en France, les besoins domestiques seront devenus ce « qu'ils sont en Angleterre et en Amérique, la consommation s'élèvera « facilement de part et d'autre à 300 ou 400 litres par habitant. »

64. Données statistiques. — Voici, d'ailleurs, d'après des indications récentes, quelle est l'importance de l'alimentation dans un certain nombre de villes de France et de l'étranger.

FRANCE

Noms des villes	Population	Alimentation par habitant et par jour	Observations
		lit	
Marseille	318,868	450	Ces renseignements ont été recueillis en 1883.
Carcassonne	25,971	400	
Aurillac	11,211	280	
Besançon	54,404	260	
Agen	19,503	250	
Bayonne	27,416	250	
Limoges	59,011	240	
Dijon	47,039	240	
Paris	2,269,023	215	Insuffisance reconnue, travaux en cours.
Melun	11,241	210	
Orléans	52,157	200	
Tours	48,325	190	
Boulogne-sur-Mer	40,075	175	
Semur	4,130	160	
Nantes	122,247	150	
Lyon	342,815	140	Insuffisance reconnue.
Périgueux	24,169	130	
Toulouse	131,642	120	
Arras	26,764	115	
Troyes	41,275	110	

ANGLETERRE

Glasgow	511,000	238	W. Humber.
Édimbourg	206,000	181	Brackert 1882.
Dublin	318,939	172	—

ANGLETERRE (*suite*).

Noms des villes	Population	Alimentation par habitant et par jour	Observations
		lit.	
Hull	149,627	148	Brackert 1882.
Londres	3,378,000	135	W. Humber.
Sheffield	225,000	130	—
Newcastle	200,000	126	—
Birmingham	400,757	113	Brackert 1882.
Liverpool	625,000	108	W. Humber.
Leeds	225,000	107	Brackert 1882.
Manchester	685,000	94	W. Humber.
Sunderland	150,000	88	—
Bristol	116,000	85	—
Cambridge	30,000	81	—
Norwich	57,500	60	—

ALLEMAGNE

Bonn	31,514	289	Grahn.
Hambourg	418,400	237	—
Dresde	220,818	228	—
Francfort	136,831	223	—
Cologne	144,772	200	—
Munich	230,023	160	—
Brunswick	75,038	154	—
Leipzig	149,081	150	—
Dantzig	109,860	140	—
Cassel	58,290	124	—
Hanovre	122,843	116	—
Altona	91,047	115	—
Breslau	272,912	90	—
Berlin	1,122,330	75	—
Nuremberg	99,519	60	—

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Washington	112,000	700	Couche.
Détroit	118,000	574	Nichols.
Chicago	503,304	431	1880-1881
Boston	416,000	348	—
New-York	1,206,590	297	—
Cincinnati	256,708	287	—
Saint-Louis	346,000	273	—
Philadelphie	847,544	257	—
Brooklyn	566,689	205	—
Providence	102,500	137	—
Fall River	49,430	114	—

DIVERS

Rome	303,383	1,000 (?)	Bazalgette.
Lausanne	29,000	560	—
Christiania	116,801	175	—
Pesth	320,000	140	—

DIVERS (*suite*).

Noms des villes	Population	Alimentation par habitant et par jour	Observations
		lit.	
Vienne	730,000	100 (?)	Bazalgette
Rotterdam	133,000	100	—
Saint-Pétersbourg	700,000	95	—
Athènes	68,677	90	—
La Haye	114,936	75	—
Naples	448,335	70	—
Stockholm	173,433	70	—
Amsterdam	524,536	50	—
Barcelone	282,500	30	—
Madrid	477,500	15	—
Calcutta	794,645	95	—
Bombay	645,000	90	—
Alexandrie	165,752	80	—
Le Caire	327,462	50	—
Rio Janeiro	228,743	135	—
Buenos Ayres	230,000	90	—
Valparaiso	100,000	90	—
Adelaïde	85,000	230	—
Sydney	135,000	115	—

§ 2.

QUALITÉS DE L'EAU DESTINÉE A L'ALIMENTATION DES VILLES

65. Eau pour la boisson. — L'eau destinée à la boisson, à laquelle s'applique plus particulièrement la dénomination usitée d'*eau potable* (en allemand, *Trinkwasser*), doit pouvoir être consommée dans l'état même où elle sort des conduites publiques.

Tel est l'axiome posé par Belgrand [1], et il en déduit que, sans préparation aucune, l'eau doit être *salubre* et agréable à boire, c'est-à-dire *limpide, fraîche,* sans saveur ni odeur.

L'eau chimiquement pure n'existe pas dans la nature, et toutes les eaux que l'on peut recueillir pour l'alimentation sont plus ou moins chargées de *gaz* dissous provenant de l'atmosphère, de *matières solides* en suspension ou en dissolution empruntées aux couches superficielles ou profondes du sol, et souvent d'impuretés résultant de la décomposition des *matières organiques* animales ou végétales, enfin, d'*organismes microscopiques*, algues ou microbes.

Une eau doit être considérée comme *salubre* si elle ne contient aucun élément reconnu nuisible à la santé. Mais, pour qu'elle soit acceptée sans défaveur, il faut de plus qu'elle soit manifestement dépourvue de

1. *La Seine*, p. 457,

tout mélange répugnant, mise à l'abri de toute contamination possible, « L'eau potable, comme la femme de César, ne doit pas même être « soupçonnée. » (Arago.)

L'instinct naturel de l'homme le porte à rechercher une eau aussi pure que possible. Il consulte d'abord l'odorat, qui lui décèle la présence de très petites quantités de substances sulfhydriques et ammoniacales; le goût, qui lui fait rejeter toute eau fade, salée ou douceâtre. Mais bien des impuretés échappent à l'un et à l'autre sens; aussi attache-t-il une importance primordiale à la limpidité, qui est le signe le plus apparent de la pureté de l'eau. Une eau est *limpide* « lorsqu'elle laisse voir dis- « tinctement les moindres objets dans des profondeurs de 3 à 4 mètres. » Une très petite quantité d'argile en suspension suffit pour rendre l'eau *louche*, puis *trouble*.

Vue dans des vases de faible profondeur, l'eau pure est parfaitement incolore ; mais, lorsque la profondeur atteint deux à trois mètres, elle prend une belle teinte bleue. Une faible proportion de particules solides modifie cette coloration, et donne à l'eau une teinte verte, d'un ton plus ou moins franc, et qui peut passer au vert jaunâtre et même au jaune rougeâtre.

Une eau chaude ou tiède en été n'est pas agréable à boire, et le consommateur aura tendance à lui préférer une eau moins pure mais plus fraîche; une eau froide n'est jamais absorbée sans danger. « *Optimæ* « *sunt quæ et hieme calidæ fiunt, æstate vero frigidæ* » telle était déjà l'indication d'Hippocrate. On dit que l'eau est *fraîche* « lorsque sa tem- « pérature est en toute saison peu différente de la température moyenne « de la localité. A Paris, les limites de la fraîcheur sont comprises entre « 9° et 14° centigrades. Dans le Sahara, l'eau paraît très fraîche à « 23° [1]. »

66. Eau pour les usages domestiques. — Pour la plupart des autres usages domestiques, il n'est pas indispensable que l'eau soit limpide ni fraîche; mais elle doit toujours être salubre.

L'emploi que l'on en fait pour la toilette et les bains la met en contact direct avec le corps; elle pénètre dans les pores de la peau, et, pour peu qu'elle renferme des impuretés, il se pourrait qu'elle eût une influence fâcheuse sur la santé : son action serait alors particulièrement à redouter si elle venait à rencontrer quelque partie du corps où la chair fût mise à nu par la moindre blessure.

Lorsqu'elle est utilisée pour le lavage des vêtements ou des diverses parties de la maison, elle se trouve exposée à une évaporation rapide ; les germes pernicieux, si elle en contient, se déposent alors sur les planchers, les vitres, les combles, d'où ils peuvent se répandre dans

1. Belgrand, *la Seine*, p. 458.

l'atmosphère et pénétrer dans l'organisme par la voie de la respiration.

Comme la police de sûreté, dit un hygiéniste allemand, M. Wolffhügel, a le devoir d'empêcher l'introduction de matières explosibles ou inflammables dans les maisons pour la sécurité des habitants et du voisinage, de même l'hygiène publique doit veiller à la salubrité de l'habitation, afin que la négligence de quelques-uns ne rende pas illusoires les efforts faits dans l'intérêt de tous ; pour cela, aucun moyen n'est plus efficace qu'une distribution publique fournissant en abondance dans la maison une eau salubre, aussi bien pour les lavages que pour la boisson.

Il est de plus nécessaire que l'eau ne soit pas *dure*, c'est-à-dire ne contienne pas une quantité notable de sels calcaires ou magnésiens, afin de cuire les légumes sans les durcir et surtout de se prêter économiquement au lavage du linge. La chaux et la magnésie ont en effet la fâcheuse propriété de former avec les acides gras des composés insolubles qui durcissent par la cuisson. Ces composés, lorsqu'ils prennent naissance dans la préparation des aliments, en rendent la digestion difficile. Ils se précipitent sous forme de *grumeaux* quand on dissout le savon dans l'eau, d'où résulte une perte de savon proportionnée à la quantité de sels contenus dans l'eau.

67. Eau pour le service public. — Le service public n'a évidemment pas les mêmes exigences et l'on peut laver les ruisseaux et faire des chasses dans les égouts avec des eaux plus ou moins impures, troubles, colorées ou chargées de matières solides, sans aucun inconvénient.

Cependant une eau *claire*, sinon limpide, sera d'un meilleur effet dans les vasques des fontaines publiques et donnera une idée plus haute des soins apportés à tout ce qui concerne la salubrité. Elle aura d'autre part l'avantage d'éviter l'usure trop rapide des appareils et les nettoyages trop fréquents. Une eau très *calcaire* a l'inconvénient de former sur la paroi des conduites des dépôts qui en restreignent le débit et augmentent les pertes de charge ; le jeu des appareils de la distribution ne tarde pas à s'en ressentir et le *tartre* rend l'entretien particulièrement difficile. Enfin, pour l'arrosage des rues, trottoirs, allées, on ne doit employer qu'une eau salubre, car en lançant cette eau en pluie, en l'exposant à l'évaporation sur de grandes surfaces, on la met en contact avec l'atmosphère et l'on diffuse nécessairement les germes malfaisants qu'elle peut contenir.

Il n'est pas question ici de l'eau fournie par les *bornes-fontaines* et les *fontaines de puisage*, qui doit être considérée comme destinée à la consommation domestique et présenter à ce titre tous les caractères de l'eau potable.

68. Eau dans l'industrie. — Quant à l'eau employée dans l'industrie, elle doit présenter, suivant les cas, des qualités diverses. On peut

dire toutefois d'une manière générale qu'on préférera presque toujours celle qui contient peu ou point de matières solides en suspension ou en dissolution.

Dans les lavoirs, dans les fabriques de tissus, dans les teintureries, etc., on évitera les eaux *calcaires,* qui ont une fâcheuse action sur le savon et les couleurs ; les eaux *ferrugineuses* qui donnent lieu à des taches de rouille ; dans les raffineries de sucre, les eaux *nitratées* qui ne sont pas favorables à la cristallisation.

Pour la confection des maçonneries, on rejettera une eau chargée de chlorure ou autres sels déliquescents, qui, par leur propriété d'absorber la vapeur d'eau contenue dans l'air, entretiennent l'humidité des murs, ou de substances azotées, qui provoquent la formation du nitrate de chaux ou salpêtre, si nuisible à la conservation des bâtiments.

La présence de matières organiques et surtout de micro-organismes est à redouter dans toutes les industries qui reposent sur une fermentation, comme la boulangerie, la tannerie et la fabrication de la bière.

Pour l'alimentation des chaudières destinées à la production de la vapeur, on recherche les eaux les moins riches en sels calcaires, parce que ces sels se déposent sur les parois et y forment des *incrustations,* dont on a grand'peine à se débarrasser, même par des extractions fréquentes et par l'emploi préventif de substances dites *désincrustantes,* et qui finissent toujours par rendre nécessaire un travail de détartrage à la main, long et onéreux.

69. Substances utiles ou nuisibles à la santé. — Dans l'état actuel de la science, on ne saurait guère indiquer, d'une manière nette et précise, parmi les substances si variées que les eaux naturelles renferment en petites quantités, celles qu'il faut rechercher comme *utiles* à la santé, celles qu'il faut éviter comme *nuisibles* et les proportions des unes ou des autres que l'on ne doit pas dépasser.

Les travaux récents sur la matière ont modifié les idées qui avaient cours précédemment ; tel caractère, auquel on attachait une importance capitale, il y a quelques années encore, se trouve aujourd'hui relégué au second plan.

Ainsi l'on demandait avant tout qu'une eau fut *aérée,* c'est-à-dire tînt en dissolution une certaine proportion des gaz qui entrent dans la composition de l'eau ; on qualifiait de *légère* celle où l'analyse décelait une notable quantité d'oxygène libre, de *lourde* celle où ce gaz était moins abondant, l'azote étant considéré d'ailleurs comme indifférent. L'absence d'oxygène dans l'eau passait pour être la cause de certaines maladies endémiques dans les pays de montagnes ; l'acide carbonique en faible proportion était recherché comme facilitant la digestion. Or, on sait aujourd'hui qu'une eau quelconque, pour peu qu'elle ait été exposée à l'air, contient l'oxygène, l'azote et l'acide carbonique dans des proportions déterminées par la solubilité respective de ces gaz et par la

pression ambiante. L'eau distillée, l'eau des puits artésiens s'aère immédiatement dès qu'elle est amenée au contact de l'atmosphère. Et, dans un même échantillon d'eau, ces proportions de gaz dissous se modifient suivant les circonstances de température, de pression où il se trouve placé ; si on le conserve en vase clos, elles changent peu à peu suivant que l'eau contient une plus ou moins grande quantité d'algues ou de microbes.

On a considéré pendant longtemps le *carbonate de chaux* comme une substance nuisible dans les eaux potables, au même titre que le *sulfate de chaux* dont la présence caractérise les causes *séléniteuses*. Dupasquier, dans un ouvrage sur *les Eaux de source et les eaux de rivière*, combattit cette opinion, et après lui bien des auteurs ont admis, d'une part, que le carbonate de chaux, dissous dans un excès d'acide carbonique, intervient utilement à l'état de bicarbonate dans les phénomènes de la digestion, en saturant l'acidité trop grande du suc gastrique ; d'autre part, que la chaux concourt à la nutrition des jeunes enfants en fournissant un élément indispensable à la formation des os [1]. Mais il semble résulter des statistiques contradictoires, dressées à ce sujet, que la présence du carbonate de chaux en quantité modérée n'a aucune influence sensible, bonne ou mauvaise, sur la santé publique.

De même encore, on a voulu trouver dans les substances minérales, que contiennent les eaux consacrées à la boisson, la cause du *goitre*, qui est localisé dans certaines régions. Pour les uns, le goitre était dû aux composés calcaires et magnésiens ; pour les autres, à la présence du brôme et du fluor ; quelques-uns l'ont attribué à l'absence de l'iode. Les faits paraissent démentir à la fois toutes ces théories, car on n'a pas trouvé de caractère identique persistant dans les eaux potables des contrées où le goitre est répandu ; et l'on en est revenu à se demander si c'est bien dans les eaux qu'on doit chercher la cause inconnue de cette maladie [2].

Ce qui contribue à jeter le doute sur ces questions et facilite la controverse, c'est l'immunité que donne l'habitude, *l'accoutumance*. Il est certain qu'une eau à laquelle les habitants d'une ville, d'une région, se sont habitués, peut n'exercer sur leur santé aucune influence fâcheuse, et, cependant, causer certaines maladies aux étrangers qui en usent accidentellement [3]. Peut-être doit-on, il est vrai, se méfier des indications données quelquefois à ce sujet, de peur d'attribuer aux eaux des effets qui seraient dus à des influences climatériques.

Certains points, néanmoins, paraissent bien établis et sont admis par la généralité des hygiénistes :

1. *Annuaire des eaux de la France pour* 1851.
2. Wolffhügel. *Wasserversorgung*, p. 77.
3. Wolffhügel, p. 78. — Nichols. *Water Supply*, p. 18.

1° Les matières minérales solides, en dissolution dans la plupart des eaux communes, et dont la proportion ne dépasse pas le plus souvent quelques dix-millièmes en tout, sels calcaires ou magnésiens, chlorures, sels de fer, etc., paraissent sans action sur l'organisme.

L'absence complète de ces matières n'est pas nuisible, puisque l'eau distillée, seule consommée par les marins et dans certains ports, n'altère point la santé. Dans les cas, assez exceptionnels, où quelques-unes d'entre elles s'y trouvent dissoutes en quantités notablement supérieures aux proportions ordinaires, l'eau rentre dans la catégorie des *eaux minérales;* dès lors, sans être encore pernicieuse, elle peut n'être plus inoffensive; il convient de ne pas la recommander comme boisson habituelle et de la réserver pour une action médicinale plus ou moins efficace.

2° La présence des matières organiques est au contraire redoutable pour la santé.

Bien qu'on puisse souvent absorber impunément des eaux qui en sont notablement chargées, il n'en est pas moins démontré que l'usage d'eaux contenant des matières animales ou végétales en décomposition provoque parfois dans l'organisme certains désordres, comme la *diarrhée*, la *dysenterie*, la *malaria*, sans que l'on sache bien si ces matières sont la cause directe de la maladie, ou constituent seulement le milieu favorable au développement du germe.

3° Ce qu'il faut craindre par-dessus tout, c'est la contamination de l'eau par les déjections des villes et de l'industrie.

L'homme a, pour les eaux puisées dans les rivières au-dessous du débouché des égouts, dans les nappes au voisinage des cimetières, dans les puits peu éloignés des fosses et des puisards, une répugnance instinctive qui se trouve hautement justifiée depuis la découverte des microbes. En effet, c'est précisément dans ces milieux que les bactéries pullulent, et, si leur nombre semble assez indifférent, puisque beaucoup d'entre elles sont inoffensives, on sait que quelques-unes sont caractéristiques de maladies déterminées dont l'eau pourrait devenir l'agent de transmission. On assure, bien que le fait n'ait pas encore été prouvé, que le *choléra* se propage aisément par cette voie, et, pour la *fièvre typhoïde*, les exemples nombreux et topiques qu'on en cite ne permettent plus aucun doute.

70. Inconvénients que présentent quelques eaux propres à la boisson. — Il y a lieu d'observer qu'une eau peut être bonne pour la boisson, lorsqu'on la puise directement là où elle est fournie par la nature, et présenter néanmoins certains inconvénients si on l'utilise pour une distribution d'eau. Ainsi les eaux chimiquement très pures, contenant très peu de sels minéraux, attaquent souvent le plomb des conduites, le zinc des réservoirs, et se chargent de composés toxiques qui

peuvent devenir parfois nuisibles ou dangereux, tandis que, dans les mêmes conditions, des eaux plus riches en sels minéraux, en sels calcaires notamment, peuvent être impunément employées, après avoir passé dans des tuyaux de plomb et séjourné dans des récipients en zinc.

D'autre part, les eaux où le carbonate de chaux se trouve en forte proportion, quoique parfaitement inoffensives, doivent être évitées à cause des dépôts qui résultent de leur passage dans les conduites et les appareils de la distribution : en effet, tandis que le sulfate de chaux est assez soluble et ne donne pas lieu à des dépôts, le carbonate ne peut être dissous dans l'eau qu'à l'état de bicarbonate, et ce sel est si peu stable que « l'agitation de l'eau suffit pour faire dégager une partie de « l'acide carbonique et produire un dépôt de carbonate insoluble[1] ». Il résulte des essais faits par Belgrand à ce sujet qu'une eau devient *incrustante* à la température ordinaire de l'air, lorsque la proportion de carbonate de chaux dissous dépasse 18 à 20 centigrammes par litre. A la température de l'ébullition, l'eau n'en retient plus que 3 centigrammes, et la congélation produit « un départ presque complet des sels « terreux en dissolution[2] ».

Certaines eaux ont l'inconvénient de provoquer dans les conduites en fonte la formation de concrétions volumineuses, qui en diminuent la section utile, et finissent quelquefois par les obstruer complètement. Ces *tubercules*, dont la présence a été constatée à Grenoble, il y a plus de cinquante ans, par M. Gueymard, et qui ont été observés à Cherbourg, à Saint-Étienne, en France, à Boston, en Amérique, et dans beaucoup d'autres villes, seraient très probablement dus, s'il faut en croire les résultats de l'étude récemment faite à ce sujet par M. Lory, doyen de la Faculté des Sciences de Grenoble, à la présence de matières organiques végétales en dissolution ou en suspension dans l'eau.

71. Avantages que présentent certaines substances inutiles ou nuisibles à la santé. — En sens inverse, on peut remarquer que certaines substances inutiles à la nutrition, ou même nuisibles à la santé, et qu'il est préférable de ne pas rencontrer dans une eau destinée à la boisson et au service privé, présentent des avantages spéciaux pour d'autres usages.

Tel est le cas du sulfate de chaux, dont la présence est généralement considérée comme fâcheuse, et qui aurait, paraît-il, une action favorable dans la fabrication de la bière.

Une eau très chargée de matières organiques, détestable pour la consommation domestique, sera, au contraire, excellente pour l'arrosage des jardins, puisqu'elle viendra fournir aux plantes une nourriture appropriée à leurs besoins.

1. Belgrand. *La Seine*, p. 142.
2. *Ib.* p. 153.

Une eau un peu trouble, qui ne serait pas acceptée dans la maison, sera préférée souvent dans les usines pour l'alimentation des machines à vapeur, parce que la vase qu'elle tient en suspension est une sorte de désincrustant naturel, qui empêche la cristallisation des sels calcaires, et détermine la formation de dépôts terreux sans adhérence, que de simples extractions enlèvent aisément.

72. Pas de définition générale. — Il résulte des considérations qui précèdent que l'eau destinée à desservir les divers besoins de la consommation se trouve avoir à satisfaire à des conditions diverses et parfois contradictoires.

Par suite, il serait difficile, sinon impossible, de donner une *définition* de l'eau propre à l'alimentation, qui fût de nature à répondre à toutes les exigences et pût être acceptée par tout le monde.

On a cherché souvent à indiquer par des chiffres les quantités des divers corps dissous qu'il faudrait considérer comme des *limites*, et ne jamais dépasser, lorsqu'on choisit l'eau destinée à l'alimentation d'une ville. Mais les appréciations varient beaucoup à cet égard, et les auteurs indiquent des chiffres assez différents : les uns voudraient que la quantité totale de matières solides en dissolution fût inférieure à 2 décigrammes par litre ou 20 parties sur 100.000, d'autres admettent qu'elle peut s'élever jusqu'à 50 sans inconvénient; ici, l'on rejette une eau contenant 15 ou 18 parties de sels calcaires sur 100.000; là, on accepte celle qui en contient 25 ou 30. Mêmes écarts pour les matières organiques : le Dr Frankland, qui fait autorité en la matière, tout en indiquant sa répugnance pour une classification quelconque, admet qu'une eau superficielle est très pure si elle contient moins de 0,2 pour 100.000 de carbone organique, douteuse si la proportion dépasse 0,4, mauvaise au delà de 0,6; ce serait 0,1, 0,2 et 0,4 seulement pour une eau d'autre origine; et la Commission anglaise de la pollution des rivières repousse une eau contenant plus de 0,2 de carbone ou 0,3 d'azote organique. Que conclure, sinon qu'il n'y a pas de type unique auquel on puisse utilement ramener toutes les eaux, et qu'il ne faut pas prendre les mêmes termes de comparaison pour des eaux d'origines différentes?

73. Conclusion pratique. — Il convient au reste d'observer que l'eau la plus complètement pure n'est pas toujours celle qui doit être préférée quand on projette une distribution d'eau, car il se peut qu'elle ne réponde pas à d'autres données également importantes du problème complexe de l'alimentation d'une ville. La solution la plus satisfaisante, celle qui, pour la plus grande somme d'avantages, présente le moins d'inconvénients, s'obtient fréquemment par un compromis, et l'on serait bien des fois arrêté dans la pratique, si l'on ne voulait pas se départir des règles absolues qu'on est assez volontiers tenté de s'imposer *a priori*.

La difficulté qu'on éprouve parfois, en présence de diverses solu-

tions possibles, à en choisir une qui soit complète et satisfasse seule à toutes les exigences, est un des motifs invoqués pour dédoubler dans certains cas le problème, en se résignant à desservir séparément la consommation domestique et les services public et industriel. On trouve en effet plus aisément et à moins de frais une eau quelque peu chargée d'impuretés, très suffisante pour la rue et les usines, mais inadmissible pour la boisson ; et, lorsque la pénurie d'eau potable ou l'énorme dépense à faire pour se la procurer en quantité convenable est un obstacle à une amélioration nécessaire, la double alimentation est certainement justifiée, malgré les sujétions et les frais supplémentaires de canalisation qui doivent en résulter.

CHAPITRE V

LES RESSOURCES

Sommaire :

§ 1er. *Généralités.* — 74. L'eau dans la nature. — 75. L'eau de mer. — 76. Les eaux douces. Leur origine. — 77. Pauvreté relative des terrains imperméables. — 78. Richesse des terrains perméables.
§ 2. *La pluie.* — 79. Observations pluviométriques. — 80. Quantités de pluie. — 81. Variations séculaires. — 82. Variations annuelles. — 83. L'eau de pluie. — 84. Emploi de l'eau de pluie.
§ 3. *Les eaux superficielles.* — 85. Les eaux à la surface du sol. — 86. Les eaux courantes. — 87. Les eaux dormantes. — 88. Composition des eaux superficielles. — 89. Emploi des eaux superficielles.
§ 4. *Les eaux souterraines.* — 90. Les eaux à l'intérieur du sol. — 91. La nappe des puits. — 92. Les nappes profondes. — 93. Les nappes artésiennes. — 94. Les sources. — 95. Composition des eaux souterraines. — 96. Emploi des eaux souterraines.

§ 1er.

GÉNÉRALITÉS

74. L'eau dans la nature. — La nature a mis à la portée de l'homme l'eau nécessaire à la satisfaction de ses besoins.

Il peut recueillir celle qui tombe sur le sol à l'état de *pluie*, de *neige*, de *grêle*, ou puiser celle qui ruisselle à la surface et y forme des *torrents* et des *rivières*, des *étangs* et des *lacs*, chercher dans les couches plus ou moins profondes du sous-sol celle qui les imprègne, s'y accumule en *nappes* souterraines et vient émerger en certains points pour y constituer les *sources*.

Partout il trouve l'eau soumise à un renouvellement continu, qui en assure la pureté relative. Un échange s'opère sans cesse entre la terre et l'atmosphère qui l'entoure. Sous l'influence de la chaleur solaire, aussi bien sur les continents que sur l'immense superficie des mers, l'eau est transformée peu à peu en vapeur ; débarrassée de toutes les impuretés dont elle était chargée, elle va se mélanger à l'air ; puis, lorsque,

par l'effet successif de l'évaporation, la tension de la vapeur dans l'air dépasse une certaine limite, un phénomène inverse, une condensation, se produit, et il se forme des *nuages* qui sont entraînés au loin au gré des vents et des courants atmosphériques, jusqu'à ce qu'ils se résolvent en pluie. L'eau retombe alors et coule à la surface du sol, se chargeant rapidement de matières diverses minérales et organiques, en abandonnant quelques-unes sur son parcours, retenant les autres, pour aboutir finalement à l'Océan. Elle recommence ensuite la même évolution qui se reproduit perpétuellement, et que l'on a très justement comparée à une distillation continue « dans le grand alambic de la nature, dont le foyer « est le soleil, l'atmosphère le condenseur, et la terre le récipient[1]. »

75. L'eau de mer. — Les *mers*, recevant sans cesse l'apport des fleuves qui jouent sur les continents le rôle de collecteurs, se trouvent être par suite, en même temps que le grand réservoir des eaux réparties à la surface du globe, le réceptacle de toutes les matières qu'elles entraînent; comme l'eau n'en sort que par l'évaporation, c'est-à-dire parfaitement pure, ces matières s'y accumulent sans cesse : d'où l'explication de la *salure* des eaux de l'Océan.

L'*eau de mer* contient des quantités notables de matières salines dissoutes, et en particulier une proportion telle de *sel marin* (chlorure de sodium) — 25 à 30 grammes par litre — qu'elle est absolument impropre à la boisson et même à la plupart des autres usages. Si, dans des circonstances tout à fait exceptionnelles, on y a parfois recours, sur les navires en mer ou dans des stations navales particulièrement déshéritées, ce n'est jamais que pour des emplois spéciaux, comme l'alimentation des machines à vapeur, à moins qu'on ne se résigne à la soumettre à une véritable *distillation* dans des appareils construits à cet effet, opération compliquée et dispendieuse, qui ne serait point pratique s'il fallait l'étendre à une consommation de quelque importance.

76. Les eaux douces. Leur origine. — Seules, les *eaux douces*, ainsi nommées par opposition à l'eau salée de la mer, sont employées d'une manière générale à l'alimentation.

Toutes ont la même origine : elles proviennent des *eaux météoriques*, résultant de la condensation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, qui tombent sur la terre à l'état de pluie le plus souvent, mais aussi sous forme de neige ou de grêle, suivant l'état des couches atmosphériques qu'elles traversent avant de rencontrer le sol.

Dans certaines régions montagneuses, où la température est toujours très basse, la neige s'accumule, s'entasse et constitue une masse compacte qui prend le nom de *glacier;* la fusion partielle et lente de cette masse donne lieu au départ de filets liquides qui vont former un peu plus bas des sources et des ruisseaux. Mais, dans la plupart des cas, la

1. Figuier. *Merveilles de l'industrie : l'eau.*

neige, aussi bien que la grêle, fond assez rapidement et subit les mêmes effets que l'eau de pluie proprement dite.

Une partie de cette eau s'évapore et retourne à l'atmosphère, une autre ruisselle à la surface du sol en suivant les pentes les plus rapides, et va rejoindre le cours d'eau le plus voisin, et une troisième s'infiltre lentement dans l'épaisseur des terres, partout où elle rencontre des couches suffisamment poreuses ou fissurées.

L'*évaporation* se produit soit au moment même où la pluie tombe, soit peu à peu lorsque l'eau séjourne sur le sol, soit enfin par l'intermédiaire des plantes; aussi varie-t-elle avec la température, avec la nature et la configuration du sol, avec la végétation.

L'*infiltration* dans le sol est plus ou moins considérable, suivant le degré de porosité de la couche superficielle, l'état d'humidité ou de sécheresse du sol, les déclivités.

La fraction de la quantité totale d'eau tombée, qui n'a été ni évaporée ni absorbée par la terre, constitue l'*écoulement superficiel*.

Elle est d'une importance bien différente, selon que la pluie rencontre un terrain *imperméable*, à pentes rapides, dépourvu de végétation, en temps froid et humide, ou un sol *perméable* à pentes très adoucies, boisé ou en culture et desséché par la chaleur ; dans le premier cas, il n'y a pas d'absorption, presque pas d'évaporation, comme sur le toit d'un édifice, et la quantité totale, ou peu s'en faut, s'écoule dans un temps très court; le coefficient d'écoulement atteint 0,98 en hiver, sur les terrains granitiques du Morvan (Vignon); dans le second, au contraire, l'évaporation est considérable, l'absorption très active et l'écoulement superficiel peut être réduit à néant : sables de Fontainebleau (Belgrand). Entre ces deux extrêmes, il y a bien des intermédiaires, aussi ne saurait-on donner des indications générales précises au sujet de la répartition de la quantité d'eau tombée entre l'évaporation, l'écoulement superficiel et l'infiltration. Dans chaque région, il y a lieu de se livrer à ce sujet à des observations directes, qui rentrent dans le domaine de la *météorologie*.

L'eau évaporée à la surface du sol est totalement perdue pour l'alimentation. Celle qui s'écoule superficiellement ne peut être recueillie qu'en partie au passage. Celle qui s'est infiltrée dans le sol s'y accumule et constitue une réserve naturelle, à laquelle on peut avoir recours en tout temps et qui se prête à l'utilisation la plus complète.

77. Pauvreté relative des terrains imperméables. — On conçoit que les terrains où cette réserve est abondante sont ceux qui offrent le plus de ressources, ceux où elle est médiocre ou nulle qui en offrent le moins.

Ce n'est donc pas en général dans les terrains imperméables qu'il faut chercher l'eau nécessaire à l'alimentation.

Lorsque l'eau du ciel tombe sur un sol de cette nature, elle coule à la surface, un ruisseau se forme dans chaque repli de terrain; les parties

ameublies par la désagrégation naturelle des roches ou par la culture, celles qui sont couvertes de forêts ou de prairies retiennent momentanément une partie de l'eau et donnent lieu à une foule de petites sources ou plutôt à des *suintements;* mais bientôt l'égouttement plus ou moins lent diminue ou cesse; ruisseaux et sources ne sont plus que des filets d'eau ou des *pleurs*, et souvent tarissent complètement.

Les cours d'eau des terrains imperméables ont par suite un régime *torrentiel;* leurs crues sont très violentes et de courte durée, parfois de quelques heures seulement, et leur débit ordinaire est faible relativement à l'étendue du bassin versant.

On reconnaît un terrain imperméable à la seule inspection d'une carte bien faite ; il est sillonné par une infinité de petits cours d'eau, la plupart éphémères et qui ne sont pas nécessairement alimentés par des sources. On le reconnaît aussi à ce double caractère mis en relief par Belgrand : les ponts y sont très nombreux et ont un très grand débouché, et les prairies naturelles s'y rencontrent, non seulement au fond des vallées. mais encore à flanc de côteau et jusqu'au sommet des montagnes.

78. Richesse des terrains perméables. — C'est tout le contraire pour les terrains perméables; l'eau s'infiltrant rapidement dans l'épaisseur du sol, l'écoulement superficiel se trouve presque supprimé, les petits ruisseaux sont rares, beaucoup de vallons restent secs et il n'y a de cours d'eau qu'au fond des grandes vallées. Mais ces cours d'eau, alimentés par les nappes souterraines ou par des sources *pérennes*, ont un débit régulier, des crues lentes et de longue durée : ils méritent le nom de cours d'eau *tranquilles*.

On reconnaît les terrains perméables à la rareté des cours d'eau, au petit nombre et au faible débouché des ponts, au contraste que présentent, dans les grandes vallées, les prairies naturelles et les marais du thalweg avec l'aridité des côteaux.

Ces terrains fonctionnent à la manière d'une éponge qui s'imbibe et retient l'eau, tant que ses pores peuvent en contenir, et s'égoutte très lentement sans jamais s'assécher.

Les sources n'y sont pas très nombreuses, mais leur débit est relativement important ; elles ne sont pas disséminées au hasard, mais groupées au fond des vallées principales, véritables *lieux de sources*, qui constituent le drainage naturel des nappes souterraines.

§ 2.

LA PLUIE

79. Observations pluviométriques. — Les eaux météoriques étant la source commune de toutes les eaux auxquelles on peut recourir

pour l'alimentation, la connaissance de la quantité de pluie qui tombe moyennement dans une région se trouve être nécessairement l'un des éléments primordiaux des recherches à faire pour déterminer le volume d'eau qu'on peut y recueillir. Elle a d'ailleurs un intérêt tout particulier au point de vue de l'*hydrologie*, c'est-à-dire de la connaissance du régime des eaux, et de l'*agronomie* ou étude des conditions de la culture. Aussi, dans presque tous les pays, a-t-on organisé, dans un certain nombre de stations convenablement réparties, des observations *pluviométriques* régulières.

A l'Observatoire de Paris, on enregistre, depuis 1689, les quantités de pluie tombées sur la terrasse de cet établissement. En 1854, Belgrand a obtenu, pour le bassin de la Seine, l'organisation d'un *service hydrométrique* permanent, qui centralise les résultats de nombreuses observations conduites d'une façon rationnelle et systématique, fait une étude générale de la répartition des pluies et du régime des cours d'eau, et recherche les lois au moyen desquelles on arrive à prévoir les crues et à en calculer d'avance la hauteur en chaque point. Les inondations de la Saône, celles de la Loire et de la Garonne, etc., ont motivé la création de services d'*annonce des crues* qui ont étendu à tout le territoire français le système d'observations pluviométriques nombreuses et comparables inauguré par le service hydrométrique.

80. Quantités de pluie. — La quantité annuelle de pluie en un point donné s'exprime par la hauteur, en millimètres, de la tranche d'eau recueillie, et correspond à une répartition uniforme sur le sol de la totalité de l'eau tombée.

Elle est essentiellement variable suivant les circonstances topographiques, la direction des vents régnants, l'altitude, le climat, etc., et diffère souvent beaucoup d'une localité à l'autre dans un rayon peu étendu. Ainsi, dans le seul bassin de la Seine, tandis qu'il tombe à Paris 556 millimètres d'eau par an, on trouve dans le Morvan jusqu'à 2.038 millimètres, et en certains points de la Brie et de la Champagne 400 millimètres seulement.

En général, les hauteurs de pluie croissent avec les altitudes. Le bassin de l'Yonne, plus élevé que celui de la Seine, reçoit 782 millimètres au lieu de 684 millimètres ; ceux de l'Oise et de l'Aisne, qui sont au contraire moins élevés, reçoivent 583 et 522 millimètres seulement; dans le Morvan, la hauteur de pluie atteint 1.750 millimètres aux Settons et 2.038 millimètres au Haut-Folin. De même, on recueille 668 millimètres dans les plaines de l'Alsace, tandis qu'il en tombe 1.360 millimètres sur la chaîne des Vosges; 930 millimètres en Italie au sud de l'Apennin, et 1.336 millimètres au nord, dans les plateaux de la Lombardie. Sur les pentes de l'Himalaya, on a trouvé jusqu'à 12 et 17 mètres d'eau par an.

Les hauteurs de pluie vont aussi en augmentant à mesure qu'on se

rapproche de la mer : on trouve 924 millimètres au Havre, 1.352 millimètres à Nantes, contre 556 millimètres à Paris ; — 2.320 millimètres à Bombay et 1.930 millimètres à Calcutta, contre 601 millimètres à Seringapatam.

Il tombe plus d'eau dans les vallées que sur les plateaux voisins.

Et l'on a observé que la quantité moyenne de pluie va en diminuant lorsque la latitude augmente : considérable au voisinage de l'Équateur, on la trouve constamment décroissante si l'on se rapproche des pôles.

La hauteur moyenne de la pluie dans le bassin de la Seine, pendant les 20 années 1861-1881, a été de 683 millimètres. Pour la France entière, elle atteint 760 millimètres.

81. Variations séculaires. — Dans une localité donnée, la hauteur de pluie varie d'une année à l'autre, mais les observations prolongées pen-

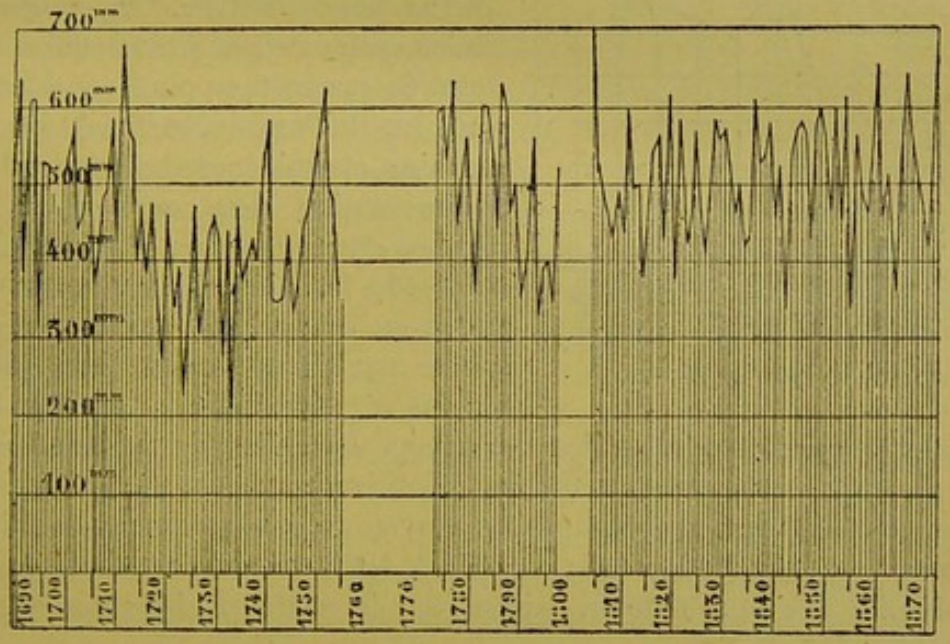


Fig 3.

dant de longues périodes n'ont pas permis de dégager de loi à cet égard. Les années *sèches* et les années *humides* se succèdent tantôt par alternances fréquentes, tantôt par séries plus ou moins longues, ainsi qu'on le constate à la vue du diagramme (*fig.* 3) qui résume les observations faites à Paris de 1689 à 1872 sur la terrasse de l'Observatoire. Ce diagramme accuse des variations assez considérables ; le minimum, 210 millimètres, correspond à l'année 1733, le maximum, 703 millimètres, à 1804. M. de Préaudeau [1] admet que la hauteur de pluie dans le bassin de la Seine est de 620 à 750 millimètres pour les années moyennes, et que les écarts extrêmes de sécheresse ou d'humidité ne dépassent guère trois dixièmes de la moyenne en plus ou en moins.

1. *Manuel hydrologique du bassin de la Seine*, 1881.

M. Victor Fournié a cru reconnaître que les variations séculaires de la hauteur de pluie suivent à peu près la même loi pour des stations peu éloignées les unes des autres, et il a posé en conséquence ce principe : que le rapport entre les hauteurs de pluie pour deux localités suffisamment rapprochées est un nombre constant. Bien que l'expérience ne confirme pas, d'une manière générale, la règle de M. Fournié, on peut admettre qu'elle s'applique assez bien aux moyennes d'un certain nombre d'années dans une région comme le bassin de la Seine, où le climat est remarquablement homogène.

82. Variations annuelles. — La répartition des pluies entre les diverses saisons de l'année est loin d'être uniforme.

Dans les climats chauds et tempérés, les pluies d'été sont d'ordinaire moins fréquentes mais plus abondantes que les pluies d'hiver. Or, ce sont les pluies ou les neiges d'hiver qui se rendent en proportion plus considérable dans les thalwegs superficiels ou souterrains et qui contribuent le plus à l'alimentation des cours d'eau, des nappes et des sources. Les eaux pluviales de la saison chaude sont restituées en très grande partie à l'atmosphère par l'évaporation directe du sol et des végétaux. Il est donc fort intéressant de connaître la loi des variations annuelles de la pluie lorsque l'on s'occupe de questions relatives à l'utilisation des eaux.

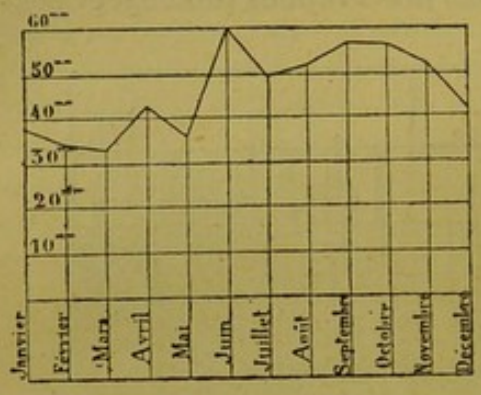


Fig. 4.

La courbe (*fig.* 4) qui résume les moyennes des constatations faites à l'Observatoire de Montsouris, de 1873 à 1884, accuse nettement la prédominante des pluies de la saison chaude à Paris, dans une période récente.

Le résumé des observations relatives aux périodes antérieures, à l'Observatoire de Paris, montre que cette prédominance est constante :

Périodes.	Saison froide.	Saison chaude.	Total moyen.
	mm	mm	mm
1689-1720	197,5	291,5	489,0
1721-1754	177,8	234,8	412,6
1774-1797	208,8	278,6	487,4
1805-1820	234,4	262,2	496,6
1821-1850	220,9	293,5	514,4
1851-1872	217,5	291,2	508,7

M. Dausse qui, depuis longtemps, a fait ressortir ce mode de répartition des pluies à Paris, l'a exprimé par la loi suivante : la quantité de pluie du semestre chaud (1er mai - 30 octobre) dépasse en moyenne de moitié celle du semestre froid (1er novembre - 30 avril).

On a observé également que cette loi s'applique aux stations pluviométriques du bassin de la Seine, où la hauteur de la pluie est inférieure à la moyenne.

83. L'eau de pluie. — L'eau de pluie provenant immédiatement de la condensation des vapeurs dans l'atmosphère devrait, semble-t-il, se présenter dans un état de pureté presque parfaite. Or, il est loin d'en être ainsi : avant même de tomber sur le sol, elle s'est chargée de gaz empruntés à l'air ambiant, de substances solubles, de particules solides, et très souvent elle est plus riche en matières organiques que les eaux recueillies après un long parcours dans l'épaisseur des terres. Ce fait s'explique d'ailleurs sans peine si l'on songe que l'atmosphère reçoit nécessairement toutes les impuretés provenant de la respiration des plantes et des animaux, de la décomposition des matières organiques à la surface du sol, de la combustion, etc.; que les vents entraînent et mettent en suspension des poussières de toute nature, grains de sable, matières salines ou organiques, corps organisés, germes microscopiques.

Les gouttelettes d'eau emprisonnent et retiennent, au moment même où elles se forment, toutes les impuretés qui se trouvaient réparties avec la vapeur d'eau dans une masse d'air considérable. Aussi, l'eau de pluie recueillie en mer est-elle plus pure qu'à l'intérieur des terres, en rase campagne que dans le voisinage des villes. Au contraire, la *rosée*, le *givre*, les *brouillards*, qui se forment dans les couches inférieures de l'atmosphère, sont plus chargés que la pluie provenant de couches plus éloignées du sol.

L'eau de pluie est toujours aérée, et il n'en saurait être autrement puisque, avant de tomber sur le sol, elle a traversé, dans un état de division extrême, une tranche épaisse d'air atmosphérique. Elle contient de 20 à 40 centimètres cubes de gaz dissous par litre (Péligot), dont deux tiers environ d'azote, un quart à un tiers d'oxygène, et jusqu'à un douzième d'acide carbonique. Baumert a trouvé à la température de 11° :

Azote	64,46
Oxygène	33,76
Acide carbonique	1,77

L'analyse y décèle la présence d'une quantité notable de matières solides : M. Barral en a trouvé 35 milligrammes par litre, à l'Observatoire de Paris ; M. Marchand, à Fécamp, 50 milligrammes. Très fréquemment, la proportion est plus importante encore. Ce sont souvent des matières organiques, des composés ammoniacaux, des nitrates, sulfates, chlorures; mais on y rencontre aussi des alcalis, de la chaux, de la magnésie, de l'oxyde de fer, de l'iode, du brome, etc.

La Commission anglaise d'enquête sur la pollution des rivières a trouvé, dans 81 échantillons d'eau de pluie ou de neige qu'elle a fait

analyser, de 0^{mg}, 26 à 3^{mg}, 72 de carbone et 0^{mg}, 03 à 0^{mg}, 66 d'azote organique par litre.

M. Barral et surtout M. Boussingault ont fait de nombreuses observations sur la teneur de l'eau de pluie en ammoniaque. Ils ont trouvé à Paris des résultats variables, entre 1 et 10 milligrammes par litre, avec une moyenne de 3 milligrammes. Il semble d'ailleurs que la quantité d'ammoniaque aille en diminuant quand l'altitude augmente. M. Bobierre, à Nantes, en a trouvé 5^{mg}, 94 à 7 mètres du sol et 2 milligrammes à 47 mètres ; dans les Vosges, M. Boussingault indique 0^{mg}, 79 seulement. Au commencement d'une averse, l'eau de pluie contient plus d'ammoniaque qu'à la fin ; dans un des exemples cités par M. Boussingault, la quantité d'ammoniaque a passé de 6^{mg}, 59 à 0^{mg}, 36.

Matières organiques et ammoniaque paraissent provenir surtout du sol. La rosée en contient beaucoup, le brouillard plus encore. Et c'est un fait connu que, pour la neige, la proportion augmente par le séjour sur le sol : après trente-six heures, on a trouvé 10^{mg}, 34 d'ammoniaque au lieu de 1^{mg}, 78 (Boussingault), et 3 milligrammes au lieu de 0^{mg}, 60 (Lawes et Gilbert).

L'acide azotique existe presque toujours dans l'eau de pluie, généralement à l'état d'azotate d'ammoniaque. M. Barral en a trouvé 1^{mg},84 à 36 milligrammes. La proportion est généralement assez forte dans les pluies d'orage, où l'on constate en même temps la présence de l'ozone.

Le chlorure de sodium, provenant de l'océan, est entraîné au loin dans l'atmosphère ; l'air est salé au bord de la mer, et nulle part on ne le trouve exempt de traces de soude ; aussi l'eau de pluie en contient-elle toujours. M. Barral, à Paris, accuse une teneur de chlorure de sodium de 2^{mg}, 26 à 7^{mg}, 61, avec une moyenne de 3^{mg}, 5 par litre ; au voisinage de la mer, la proportion est plus forte : Fécamp, 15 milligrammes ; Marseille, 7 milligrammes ; Caen, 6 milligrammes ; Manchester, 15 milligrammes. M. Chatin a signalé la présence de l'iode dans l'eau de pluie : les iodures et bromures accompagnent en effet presque toujours les chlorures.

A Paris, l'eau de pluie renferme toujours du sulfate de chaux ; dans les pays manufacturiers, elle est d'ordinaire chargée d'acide sulfurique emprunté aux produits de la combustion de la houille.

84. Emploi de l'eau de pluie. — Tout ce qui précède se rapporte à l'eau de pluie telle qu'elle est recueillie dans les laboratoires. Mais, lorsqu'elle est reçue après avoir ruisselé sur les toits, dans les gouttières, elle est beaucoup moins pure encore ; sur son passage, elle a recueilli des poussières, des débris de charbon, des matières étrangères de toute nature. Aussi est-elle très sujette à se gâter lorsqu'on la conserve pendant quelque temps. Hippocrate recommandait de la faire bouillir pour

en prévenir la corruption et l'empêcher de contracter une odeur désagréable.

Quoi qu'il en soit, l'eau de pluie est plus pure que la plupart des eaux de sources ou de rivières ; aussi est-elle d'un usage constant dans un grand nombre de localités. Bien que certains auteurs la considèrent comme fade et peu digestible, elle est habituellement acceptée sans peine pour la boisson. Excellente pour les bains, le lessivage du linge et les diverses opérations de l'industrie, elle est souvent employée au lieu d'eau distillée dans les laboratoires de chimie et dans les pharmacies.

Comme il est extrêmement difficile de se la procurer en grande quantité sur un point donné, l'eau de pluie ne se prête guère qu'à des alimentations très restreintes, celles d'une maison ou d'une ferme, d'un établissement industriel, d'un petit groupe d'habitations, par exemple. Elle ne saurait être la base d'une distribution d'eau publique de quelque importance.

§ 3.

LES EAUX SUPERFICIELLES

85. Les eaux à la surface du sol. — Les eaux que l'on rencontre à la surface du sol peuvent être classées en deux catégories distinctes.

Les unes sont soumises à un écoulement continu, et, obéissant aux lois de la pesanteur, descendent peu à peu des points relativement élevés où commence leur cours, jusqu'à l'océan où elles vont finalement aboutir. Elles occupent les thalwegs des diverses régions qu'elles traversent et y forment des *torrents*, lorsque la vitesse dont elles sont animées est grande et que leur régime est très irrégulier ; des *ruisseaux*, quand elles ont une vitesse moindre, un régime moins variable et un faible débit ; des *rivières*, quand le débit est plus considérable ; des *fleuves* dans la dernière partie de leur course vers la mer. On les comprend sous le nom générique d'*eaux courantes*.

Les autres, au contraire, accumulées dans certaines dépressions naturelles du sol, y demeurent perpétuellement immobiles et méritent l'appellation d'*eaux dormantes*. Si elles s'épanchent sur un terrain peu déclive et le recouvrent d'une couche liquide sans profondeur, elles constituent un *étang ;* quand les bords de la cuvette sont plus escarpés et la masse d'eau plus profonde, c'est un *lac*.

Toutes les eaux de superficie sont dues, au moins en partie, à la réunion des filets liquides provenant du ruissellement de la pluie à la surface du sol. Mais il arrive souvent qu'elles reçoivent un complément d'alimentation, soit des affleurements d'une nappe souterraine, soit des sources qui jaillissent sur les bords ou dans le fond même de leur lit.

Suivant que l'un ou l'autre mode de formation domine, ces eaux diffèrent plus ou moins des eaux météoriques par la quantité et la nature des substances qu'elles tiennent en dissolution ; généralement plus riches en matières minérales, lorsque la proportion d'eau de source est grande, elles ont toujours une composition très variable et en rapport direct avec celle des terrains qu'elles ont traversés.

Si elles proviennent surtout des eaux pluviales, leur température suit une loi peu différente de celle de l'air, quoique les variations en soient moins rapides et moins étendues ; dans le cas contraire, elle tend ordinairement à se rapprocher de la température moyenne, et diffère parfois très sensiblement de la température de l'air suivant la proportion des eaux souterraines et la profondeur des couches d'où elles émergent.

Sous l'influence de la chaleur et de la lumière, la vie végétale et animale se développe dans toutes les eaux de superficie : plantes aquatiques, poissons, mollusques, algues et microbes y vivent et y meurent, y croissent et s'y reproduisent. Il n'en résulte aucune altération de la qualité de l'eau, lorsque cette eau est constamment et abondamment renouvelée, lorsque le mouvement continu auquel elle est soumise favorise l'action de l'oxygène sur les matières organiques provenant de la décomposition des substances animales ou végétales. Ne sait-on pas que les eaux les plus pures sont celles où vit la truite et où croît le cresson de fontaine ? Mais si l'eau est peu ou point renouvelée, et forme une masse de faible profondeur, la décomposition des végétaux ne tarde pas à y introduire des principes pernicieux; des plantes d'un ordre inférieur, carex, mousses, cryptogames s'y multiplient ; les poissons n'y peuvent plus vivre ; des odeurs caractéristiques s'y développent, et elle devient absolument impropre à l'alimentation.

Un effet analogue se produit même dans les eaux à cours rapide et profond, lorsqu'on vient à y déverser en quantités considérables des résidus organiques provenant des égouts des villes ou des déjections des usines ; ces matières forment des dépôts putrides, la fermentation s'opère aux dépens de l'oxygène dissous, des gaz méphitiques se dégagent et l'insalubrité se manifeste.

86. Les eaux courantes. — Les caractères particuliers des *eaux courantes* résultent du mouvement incessant dont elles sont animées.

Si elles coulent sur des roches cristallines, elles n'entraînent qu'une très faible quantité de matières, et ne tiennent en dissolution que des traces de chlorures et de sulfates. En passant sur des terrains meubles et calcaires, elles se chargent de sels de chaux et de magnésie, dont la présence de l'acide carbonique favorise la dissolution ; on y trouve alors surtout du bicarbonate de chaux, sel assez soluble mais peu stable et dont la dissociation donne lieu à des dépôts de carbonate de chaux ; aux terrains gypseux, elles empruntent le sulfate de chaux, beaucoup plus

soluble que le carbonate ; mais en même temps les terres végétales les dépouillent de certaines substances, telles que l'ammoniaque, la potasse, l'acide phosphorique. Ces deux actions, en sens inverse, ont d'ordinaire pour effet une augmentation des substances minérales dissoutes qui se trouvent généralement en plus grande quantité dans les eaux superficielles que dans les eaux pluviales, mais encore en moindre proportion que dans les eaux souterraines.

Suivant la vitesse plus ou moins grande de leur écoulement, les eaux courantes exercent sur le sol, lit et rives, une action destructive plus ou moins rapide, action mécanique et chimique tout à la fois. Les dépôts provenant de la désagrégation des roches, les terres meubles, les sables, les graviers sont entraînés en fragments plus ou moins gros, suivant la vitesse de l'eau ; les parties les plus denses se séparent les premières lorsque la vitesse diminue, et forment des dépôts, des alluvions ; les plus fines, les plus ténues restent fort longtemps en suspension, et constituent le *limon*, qui ne se dépose que très lentement et voyage souvent jusqu'à la mer. La proportion des matières entraînées peut être considérable : on cite les eaux du Gange, du Mississipi, comme chargées de quantités énormes de matières solides en suspension, celles du Rhône en contiennent ordinairement 20 grammes par mètre cube, celles de la Saône 40, de la Durance 280. Dans les averses, la proportion augmente beaucoup et elle devient extrêmement importante en temps de *crue ;* la Saône entraîne alors 100 grammes par mètre cube d'eau, la Loire 250, la Seine 500, le Nil 1.580, la Durance 4.180, le fleuve Jaune plus de 5.000.

Aussi la plupart des rivières ont-elles des eaux *claires* en temps d'étiage et se troublent-elles au moment des crues ; les cours d'eau torrentiels surtout deviennent extrêmement *troubles* lorsqu'ils traversent des terrains meubles ; ceux alimentés presque uniquement par des sources deviennent seulement *louches*. On dit que l'eau est claire lorsqu'un objet d'un décimètre carré de surface et de couleur blanche y est nettement visible à une profondeur de $0^m,50$; elle est louche tant qu'on le distingue encore, trouble lorsqu'on ne le voit plus.

La durée des troubles varie beaucoup avec la constitution géologique du sol ; on a observé en France qu'ils durent trois à quatre jours sur les terrains granitiques, un peu plus longtemps sur le lias, tout le temps des crues sur les terrains calcaires. La Seine, à Paris, est claire pendant 225 jours par an, louche pendant 61, trouble pendant 79 ; l'Yonne à Clamecy, est claire 316 jours, louche 25 et trouble 24 ; la Marne, à Saint-Dizier, est claire 58 jours, louche 105 et trouble 202.

Les rivières sont les collecteurs naturels de toutes les eaux résiduaires, et, lorsqu'elles traversent de grands centres de population, elles reçoivent une quantité considérable de matières organiques, de déjections de toute espèce, qui peuvent devenir une cause grave d'alté-

ration de leurs eaux ; la navigation, lorsqu'elle existe, contribue aussi à cette altération. Heureusement, l'agitation continuelle à laquelle les eaux des rivières sont soumises favorise la dissolution de l'oxygène qui assure la combustion des matières organiques, détruit les germes, combat efficacement la contamination progressive qui serait à redouter, et rend à l'eau sa pureté, son innocuité première. Il en résulte que la proportion d'oxygène dissous fournit une indication de la pureté relative des eaux de rivière, et c'est en étudiant les variations de la quantité d'oxygène qu'on peut suivre les progrès de l'altération ou de la purification naturelle de ces eaux. Les chiffres suivants, relatifs à la Seine entre Choisy-le-Roi et Poissy, c'est-à-dire de 10 kilomètres en amont de Paris à 60 en aval, sont caractéristiques :

	d'après Gérardin	d'après M. Albert Lévy (1884)
	—	—
	mg	mg
Choisy-le-Roi	10,8	9,7
Pont d'Ivry	13,6	9,3
Pont d'Austerlitz	»	9,5
Usine de Chaillot	»	8,3
Billancourt	8,2	8,9
Suresnes	7,6	8,7
Pompe de Neuilly	»	7,1
Aval de Gennevilliers	»	8,7
Saint-Denis	»	8,2
Épinay	1,5	5,3
Marly	»	4,3
Maisons	5,3	8,5
Poissy	8,8	»

ils marquent bien nettement l'effet des égouts, lavoirs, bains, etc., dans la traversée de Paris, puis l'influence néfaste du débouché des grands collecteurs à Clichy et Saint-Denis, dont l'oxydation n'a raison qu'après un fort long parcours. De grands efforts ont été faits en Angleterre pour combattre ce que l'on y a désigné du nom de *pollution* des rivières ; une réglementation très sévère oblige les villes et les industries à épurer leurs eaux résiduaires avant de les jeter dans le lit des cours d'eau qui servent à l'alimentation ; et néanmoins, l'altération des eaux de la Tamise, en amont de Londres, et surtout de celles de la Lea, qui sont aussi distribuées dans la capitale britannique, va constamment en croissant d'une manière véritablement inquiétante [1].

La composition de l'eau des rivières est nécessairement très variable suivant le point de leur cours où on la puise, le moment considéré, la nature du sol sur lequel elles coulent, la distance des centres habités, etc. Sa couleur passe du jaune doré sur le granit à la teinte bleuâtre des

1. Couche. *Les Eaux de Londres et d'Amsterdam*, 1883.

cours d'eau alimentés par des sources calcaires, aux tons verts, puis jaunes ou rougeâtres, dus à la plus ou moins grande quantité et à la nature des matières en suspension. Sans odeur aucune d'ordinaire, elle en prend de fâcheuses lorsqu'elle est chargée de matières organiques en décomposition ; légère le plus souvent et agréable au goût, elle acquiert en pareil cas une saveur fade et repoussante.

Tandis que le *débit* des grands fleuves fournit sur leur parcours des ressources presque indéfinies pour l'alimentation des agglomérations les plus importantes, beaucoup de petites rivières ne roulent qu'une quantité d'eau assez faible, presque toujours utilisée pour la salubrité de la région, pour les irrigations des prairies, pour la marche des usines hydrauliques, et dès lors il n'est pas possible d'en détourner une partie sans léser des intérêts respectables. Dans ce cas extrême, et dans bien des cas intermédiaires, il est utile de procéder à des jaugeages du débit, d'en observer les variations souvent considérables avec les saisons de l'année, les périodes de sécheresse et d'humidité ; d'étudier en un mot le *régime* du cours d'eau auquel on se propose de faire un emprunt.

Ce régime est très différent suivant le mode d'alimentation des cours d'eau : ceux qui descendent des glaciers entrent en crue pendant les chaleurs de l'été, et c'est en hiver que se produisent les *basses eaux ;* pour d'autres, l'*étiage* correspond à la saison chaude et les crues ont lieu au printemps ou à l'automne ; quelques-uns traversent des réservoirs naturels qui en régularisent le débit.

87. Les eaux dormantes. — Certains lacs en effet sont dus à l'épanouissement des eaux d'une rivière dans une dépression naturelle qu'elles traversent ; tel est le cas du lac de Genève pour le Rhône, du lac de Lucerne pour la Reuss, du lac de Constance pour le Rhin, des lacs Majeur, de Côme et de Garde pour divers affluents du Pô, des grands lacs de l'Amérique du Nord pour le Saint-Laurent. D'autres, alimentés par des ruisseaux ou des sources, donnent naissance à un cours d'eau, et quelques-uns, dépourvus d'émissaire, ne perdent leurs eaux que par l'évaporation ; les lacs d'Annecy et du Bourget sont dans le premier cas, le lac Pavin en Auvergne, le lac d'Albano en Italie, qui occupent les cratères de volcans éteints, sont dans le second.

De quelque façon qu'ils s'alimentent, les lacs jouent le rôle de véritables bassins de décantation, où les eaux laissent déposer les matières qu'elles tiennent en suspension, se clarifient et acquièrent une transparence et une limpidité qui les distinguent nettement des eaux de rivière. Tout le monde connaît la belle apparence des lacs que l'on rencontre dans les montagnes, et l'on cite celui de Wettersee, en Suède, dont l'eau est tellement limpide que l'œil y perçoit une pièce de monnaie à 35 mètres de profondeur. Les eaux du Rhône sont jaunes et chargées de limon au moment où elles se jettent dans le lac de Genève, et pendant

assez longtemps on les suit, parce que leur coloration forme contraste avec la couleur bleue des eaux du lac ; mais elles finissent par se dépouiller de toutes les matières entraînées et sont claires et bleues lorsqu'elles en sortent à Genève.

La composition des eaux d'un lac dépend de celle des eaux superficielles ou souterraines qu'il reçoit et de la constitution géologique du sol ; mais elle est en général peu variable ; car l'immobilité même des eaux dormantes les met à l'abri des actions chimiques ou mécaniques qui tendent à modifier constamment la composition des eaux de rivières. Comme elles n'ont fait qu'un assez faible parcours à la surface du sol ou dans les couches souterraines, avant de parvenir à la dépression naturelle où elles s'accumulent, on les trouve en général peu chargées de principes minéraux : ainsi l'eau du lac de Gérardmer en est presque complètement dépourvue (Braconnot) et celle du lac Starnberg, près de Munich, n'en contient que 50 milligrammes au litre [1]. Au contraire, les matières organiques s'y rencontrent en assez grande quantité, et cela se conçoit, si l'on observe que l'oxygène de l'air, agissant à la surface seulement, ne saurait étendre à toute la masse d'eau l'effet de la combustion dont il est l'agent actif, et que facilite l'agitation dans les eaux courantes.

Une autre conséquence de l'immobilité des eaux dormantes se révèle par l'observation de la température à diverses profondeurs : à la surface, cette température suit la même loi que celle des eaux courantes, et subit des variations, de même sens, mais un peu moins étendues que la température de l'air ; mais, à mesure qu'on fait pénétrer le thermomètre dans des couches plus profondes, on constate que les variations tendent à diminuer, que la température devient de plus en plus constante et se rapproche de celle du maximum de densité de l'eau, 4°. Th. de Saussure, qui a mis en relief cette particularité, trouvait le 5 août 1779 dans le lac de Genève 21°,2 à la surface et 6°,1 à 50 mètres de profondeur.

La quantité d'eau que peut fournir un lac dépend de son alimentation, ou plutôt de l'excès des apports, par les affluents, par les sources et par les pluies, sur les pertes par l'évaporation ; l'étendue de sa surface ne donne aucune indication à cet égard. Lorsqu'un cours d'eau y prend naissance, on s'en rend compte aisément en établissant par une série de jaugeages le débit de ce cours d'eau ; mais, lorsqu'il n'a pas d'émissaire, on en est réduit à recourir à des observations délicates sur l'étendue du bassin versant, la quantité annuelle de pluie, la proportion des eaux météoriques recueillies, l'évaporation, etc.

L'eau des étangs est de qualité inférieure à celle des lacs, car le

1. Cette règle ne s'applique pas aux lacs qui n'ont pas d'émissaires ; les matières salines s'y accumulent, et l'eau y devient fortement minéralisée, au point de n'être quelquefois plus propre à la boisson. On peut citer, par exemple, la mer Morte, en Palestine, et les grands lacs de l'Afrique et de l'Asie centrale.

manque de profondeur y favorise le développement de la vie végétale et par suite l'accumulation des matières organiques. Ces matières, lorsqu'elles viennent à entrer en putréfaction, déterminent une altération grave de l'eau, qu'elles rendent absolument impropre à tous les usages de la vie ; c'est alors que l'eau prend l'odeur caractéristique dite *odeur de vase* ou de *marais*, et qu'il s'en dégage des gaz méphitiques, de l'acide sulfhydrique ou de l'hydrogène protocarboné (*gaz des marais*), principe ou véhicule des miasmes paludéens. Dans l'eau ainsi gâtée, les poissons meurent, d'où l'usage de vider et de nettoyer à intervalles réguliers les étangs artificiels. Les habitants du voisinage sont exposés aux fièvres intermittentes, aux fièvres pernicieuses, à la malaria.

88. Composition des eaux superficielles. — La composition des eaux superficielles est extrêmement variable et présente des différences très grandes suivant leur nature et leur origine, suivant les régions considérées, les époques, la constitution géologique du sol, etc., et l'on ne saurait donner à ce sujet d'indications générales précises.

Les gaz qui y sont dissous, oxygène, azote et acide carbonique, s'y trouvent en proportions variables suivant le degré de pureté de l'eau.

Dans une eau non contaminée, les quantités d'oxygène et d'azote sont entre elles dans le rapport de leurs coefficients de solubilité, et celle d'acide carbonique est très faible ; dans une eau impure, la proportion d'oxygène diminue et peut même devenir nulle, tandis que celle d'acide carbonique augmente. Ainsi l'on a observé que l'oxygène est en moins grande quantité dans les eaux de rivières à la traversée des villes, et ne revient à la proportion normale qu'après un assez long parcours.

Les substances solides atteignent le plus souvent la proportion de 120 à 280 milligrammes par litre dans l'eau de rivière ; on a trouvé :

dans la Loire à Meung	135	milligr. par litre	(Deville)
— à Nantes.....	117	—	(Bobierre)
dans la Garonne à Toulouse	136	—	(Deville)
dans le Rhône à Lyon	140	—	(Bineau)
dans la Saône à Lyon.....	271	—	(Bineau)
dans la Seine à Paris	270	—	
dans le Rhin à Strasbourg.....	232	—	(Deville)
— à Cologne.....	250	—	(Vohl)
dans l'Elbe à Magdebourg.....	260	—	(Reichardt)
dans le Danube à Deggendorf.....	247	—	(Emmerich)
dans la Tamise à Londres.....	282	—	(Frankland)
dans l'Ohio à Cincinnati.....	142	—	(Stuntz)
dans le Mississipi à Minneapolis ..	186	—	(Peckham)

et la Commission anglaise de la pollution des rivières, après avoir analysé un très grand nombre d'échantillons, a indiqué que le poids total des substances solides dissoutes serait d'ordinaire de :

51 milligrammes par litre dans les eaux courantes des terrains ignés ou métamorphiques ;

87 milligrammes par litre dans les eaux courantes des terrains stratifiés non calcaires ;

95 milligrammes par litre dans les eaux courantes des mêmes terrains en culture ;

227 milligrammes par litre dans les eaux courantes des terrains calcaires ;

300 milligrammes par litre dans les eaux courantes des mêmes terrains en culture.

Dans les eaux dormantes, la quantité de matières solides dissoutes est sensiblement moindre, ainsi qu'il a été indiqué précédemment, et c'est ce que confirment les résultats d'analyses donnés ci-après :

lac Rachel (Bohême).....	69	milligr. par litre.
— de Zurich.....	139	—
— Mystic (Boston. Etats-Unis).....	98	—

Grâce à la facilité avec laquelle le bicarbonate de chaux se décompose par l'agitation, la proportion du carbonate de chaux dans les eaux de rivière n'est généralement pas assez forte pour que ces eaux soient *incrustantes;* par le fait de la dissociation du bicarbonate, une partie du carbonate de chaux dissous dans l'eau, en présence d'un excès d'acide carbonique, se dépose dans le lit même des cours d'eau avec les sables et les graviers, et y forme parfois ces bancs de gravier agglutinés par une gangue calcaire auxquels les mariniers de la Seine ont donné le nom de *falaise.*

Les eaux superficielles contiennent toujours beaucoup moins d'ammoniaque que l'eau de pluie. Poggiale a trouvé $0^{mg},17$ dans l'eau de Seine à Paris, Boussingault $0^{mg},17$ et $0^{mg},48$ dans l'eau du Rhin à Lauterbourg, la Commission anglaise de la pollution des rivières $0^{mg},1$ à $0^{mg},7$ dans les cours d'eau de la Grande-Bretagne.

Rien n'est plus variable que les quantités de matières organiques dans les eaux superficielles, et les méthodes employées pour le dosage de ces matières sont elles-mêmes si diverses que souvent les résultats des analyses ne sauraient être comparés. La Commission anglaise de la pollution des rivières a trouvé que la proportion moyenne de *carbone organique* était comprise entre $2^{mg},68$ et $3^{mg},77$ par litre, et celle d'*azote organique* entre $0^{mg},24$ et $0^{mg},53$, pour les quelque 200 échantillons qu'elle a examinés ; elle accuse dans les eaux de Londres (Tamise) $2^{mg},04$ de carbone et $0^{mg},36$ d'azote ; les eaux de Glasgow (lac Katrin) en contiendraient respectivement $1^{mg},97$ et $0^{mg},18$. La Seine, à Paris, d'après l'Observatoire de Montsouris, aurait de 1 à 4 milligrammes de matières organiques par litre.

Les matières organiques contenues dans les eaux de superficie sont d'ailleurs de nature très diverse : les unes sont de simples composés chimiques ; d'autres sont des détritus végétaux ou animaux, des pous-

sières organisées, pollen des végétaux, germes, etc. ; d'autres enfin sont des êtres vivants, algues ou microbes, toujours en assez grand nombre, la plupart indifférents sans doute, mais dont quelques-uns peuvent avoir des propriétés nocives.

89. Emploi des eaux superficielles. — Les eaux de superficie, très répandues dans la nature et toujours d'un puisage facile, sont nécessairement fort employées. Dans tous les temps, les agglomérations urbaines se sont formées auprès des cours d'eau et sur le bord des lacs, où les habitants devaient trouver sans peine l'eau indispensable à leurs besoins.

A la condition d'être prises en des points suffisamment éloignés des villes et à l'abri des causes de contamination auxquelles elles sont trop souvent exposées, ces eaux sont en général de qualité satisfaisante pour la plupart des usages courants, point trop dures, peu ou pas incrustantes, ordinairement légères et aérées.

Les inconvénients des eaux de rivière sont leur température essentiellement variable, leurs troubles si fréquents, et la progression croissante de la contamination par les déjections des villes et les résidus de l'industrie. Chargées de matières en suspension, elles ne sont souvent admises dans la consommation qu'après avoir subi une préparation préalable, qui a pour objet de les clarifier, soit par *décantation* dans des bassins de dépôt, soit par *filtrage* à travers des couches de matières poreuses. Chaudes en été, glacées en hiver, elles ne peuvent être parfois employées à la boisson sans avoir été tiédies ou rafraîchies par des moyens artificiels. Enfin, quelque pures qu'elles paraissent au moment où l'on en fait choix pour l'alimentation d'une ville, quelque faible que soit la quantité de matières organiques qu'elles contiennent, il est toujours à craindre que le développement des agglomérations urbaines ou industrielles sur les rives ne vienne à compromettre une situation momentanément satisfaisante, mais que la nature des choses rend essentiellement précaire: à Londres, il a fallu déplacer successivement et reporter en amont toutes les prises d'eau faites dans la Tamise, édicter les règlements les plus sévères pour les protéger, organiser une surveillance spéciale ; et, malgré toutes les précautions prises, la *pollution*, suivant le mot consacré en Angleterre, continue ses progrès menaçants.

L'eau des lacs, presque toujours claire, moins riche en matières salines, et qu'on peut puiser à une température presque constante à la condition d'atteindre une couche suffisamment profonde, est souvent préférable pour les usages domestiques ; elle est recherchée en Angleterre et en Amérique.

En France, il y a une tendance marquée à préférer les eaux de source aux eaux de rivière, parce qu'elles sont d'ordinaire limpides, fraîches et mieux protégées contre les contaminations possibles. Beaucoup de villes, alimentées en eau de rivière, n'hésitent pas à s'imposer de

grands sacrifices pour remplacer cette eau par des eaux de source, soit qu'elles renoncent complètement à son emploi, soit qu'elles la réservent aux usages publics et industriels. Paris a donné l'exemple, l'eau de Seine y a été complètement écartée du service privé; Lyon projette d'en faire autant pour l'eau du Rhône, etc. Les mêmes dispositions se manifestent en Allemagne, où plus de la moitié des distributions d'eau récentes sont alimentées en eaux souterraines.

Les eaux superficielles restent toujours cependant une des ressources les plus précieuses pour l'alimentation des villes, et continueront à rendre de grands services, tout au moins pour la satisfaction des besoins de la voie publique, des usines, de la salubrité, quand même elles seraient de plus en plus rejetées par la consommation domestique. Leur abondance en est un gage assuré.

§ 4.

LES EAUX SOUTERRAINES

90. Les eaux à l'intérieur du sol. — Presque partout on trouve à l'intérieur du sol, dans les fissures des roches dures, dans les interstices des grains de sable des terrains arènacés, des masses d'eau, tantôt immobiles, tantôt animées d'une certaine vitesse dans une direction donnée, qui constituent de véritables rivières ou lacs souterrains, et auxquelles on a donné le nom général de *nappes souterraines*.

Celle que l'on rencontre tout d'abord, lorsque l'on creuse le sol dans une localité déterminée, y reçoit la désignation de *nappe d'eau des puits*.

Si l'on creuse plus avant, il arrive souvent qu'après avoir traversé cette première nappe, puis des terrains dépourvus d'eau, on rencontre une seconde, puis une troisième nappe, plusieurs nappes successives : ce sont des *nappes profondes*.

Parfois enfin, lorsqu'on atteint une de ces nappes, l'eau jaillit par l'orifice que lui offre le puits et s'élève à une hauteur plus ou moins considérable : on dit alors qu'on a rencontré une *nappe artésienne*.

Si l'on suit sur une carte géologique le développement du terrain perméable dans lequel une nappe est comprise, on trouve toujours les lignes d'affleurement supérieur où ce terrain reçoit directement les eaux météoriques, et souvent, mais pas toujours, les lignes d'affleurement inférieur par où les eaux s'échappent au dehors en formant un *niveau d'eau* ou un *lieu de sources*.

Toutes ces eaux proviennent évidemment de l'infiltration des eaux pluviales à travers les pores de la couche superficielle du sol; obéissant aux lois de la pesanteur, elles sont descendues peu à peu, à la faveur des vides que présentent les terrains perméables, jusqu'à la rencontre

de quelque couche imperméable au-dessus de laquelle elles ont dû s'accumuler, formant des cours d'eau dans les thalwegs, des mares stagnantes dans les cuvettes, ou pénétrant et se mettant en pression entre deux couches imperméables successives, dont l'ensemble constitue un véritable siphon naturel. Tantôt ce mouvement se produit très lentement, en raison de la résistance qu'éprouve l'eau à se glisser dans les canaux extrêmement étroits formés par la juxtaposition de grains très fins dans certains terrains, et des phénomènes de capillarité qui en sont la conséquence; tantôt, au contraire, il est rapide, et dans de larges crevasses, le plus souvent fort irrégulières, passent des courants animés d'une assez grande vitesse. Dans le premier cas, la nappe, s'étendant sans interruption à travers la masse du terrain, est dite *continue;* dans le second, au contraire, se divisant en filets liquides distincts qui s'écoulent dans des directions diverses par les fissures où ils trouvent un passage, elle est appelée *discontinue*. On a comparé assez justement le mode de formation des eaux souterraines à une sorte de *drainage* permanent des couches perméables du sol; elles forment, dans l'épaisseur des couches stratifiées de la croûte terrestre, des réserves naturelles, accumulées depuis des siècles, dont le trop-plein s'écoule au dehors et qui sont constamment alimentées par de nouveaux apports des eaux pluviales.

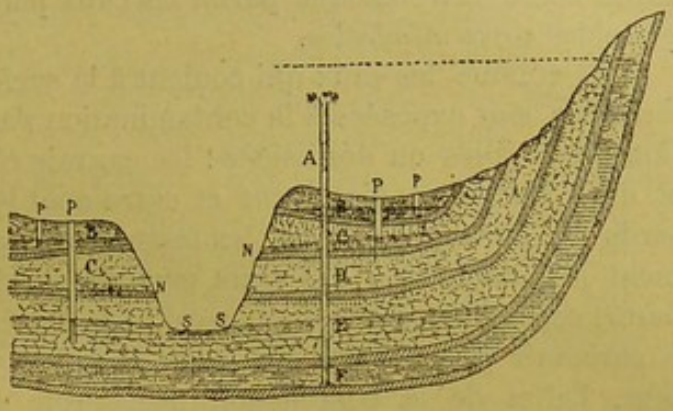


Fig. 5.

A, puits artésien; — B, nappe des puits; — C, deuxième nappe; — D, troisième nappe; — E, quatrième nappe; — F, nappe artésienne; — N, niveau d'eau; — P, puits; — S, sources.

L'infiltration lente de ces eaux à travers le sol a sur leur composition une double influence : d'une part, elles se chargent de matières solubles empruntées aux diverses natures de terrains qu'elles rencontrent sur leur parcours; et, d'autre part, elles subissent une véritable *filtration*, abandonnant dans les interstices du sol les particules solides qu'elles tiennent en suspension, et se débarrassant des matières organiques dissoutes, sous l'action des racines des plantes qui s'en nourrissent ou par l'effet de la combustion que la présence de l'oxygène détermine dans une masse d'eau extrêmement divisée. Aussi les eaux souterraines sont-elles le plus souvent moins riches en matières organiques, mais plus chargées de sels solubles que les eaux de superficie, et presque toujours d'une limpidité parfaite.

La composition des matières dissoutes varie nécessairement avec la nature des terrains traversés, conformément à l'axiome déjà admis dans

l'antiquité : *tales sunt aquæ quales terræ per quas fluunt.* Les eaux sont *calcaires* lorsqu'elles proviennent de la craie ou des terrains oolithiques, *sulfatées* quand elles imprègnent des terrains gypseux, *ferrugineuses* si elles ont rencontré sur leur parcours des sels de fer, etc. Lorsque la quantité totale de matières dissoutes est considérable, l'eau correspondante cesse d'être classée parmi les eaux potables et entre dans la catégorie des *eaux minérales.*

Tout comme les eaux qui coulent à la surface du sol, les nappes souterraines sont exposées à la contamination par le contact avec les déjections des villes ou des usines : les engrais répandus à la surface du sol et dont les pluies dissolvent et entraînent les parties solubles, les puisards ou puits absorbants, les fosses sans fond, peuvent altérer gravement la composition des eaux souterraines du voisinage. Il faut reconnaître cependant que le danger est moindre, car, pour peu que le chemin à parcourir dans le sol soit assez grand, et l'écoulement suffisamment lent, l'effet de la combustion transforme complètement les matières organiques, et ne laisse subsister avec les chlorures que les sels solubles, résultat de l'oxydation même, nitrites et nitrates, qui n'ont pas d'influence fâcheuse par eux-mêmes.

Le séjour prolongé des eaux souterraines dans l'intérieur du sol en modifie la température. Celles qu'on rencontre à faible profondeur sont fraîches, c'est-à-dire que leur température s'écarte peu de la température moyenne de l'air dans la localité considérée. Celles qui proviennent de couches profondes participent à l'échauffement progressif de la croûte terrestre ; on les trouve de plus en plus chaudes à mesure qu'on s'éloigne de la surface, et l'augmentation est, en moyenne, de 1° C. pour 27 à 30 mètres de profondeur : de là l'explication de la température élevée des *eaux thermales.* Quelle que soit d'ailleurs la température observée, elle n'éprouve pas de modification sensible avec le temps, et cette invariabilité remarquable est un des caractères distinctifs les plus constants et les plus nets des eaux souterraines en général.

91. La nappe des puits. — Les particularités que présentent les eaux de la nappe des puits dérivent de leur situation à proximité de la surface du sol.

Divers cas se présentent suivant la nature des couches superficielles.

Si le terrain est très perméable et repose à une certaine profondeur sur une couche imperméable, la nappe recevant rapidement les infiltrations des eaux pluviales est influencée par les phénomènes atmosphériques ; il s'y produit des variations de hauteur, des *crues.* Toujours continue en pareil cas, la nappe présente une pente générale dirigée vers les affleurements inférieurs du terrain qui la renferme ; mais cette pente est rarement régulière, elle varie avec la résistance plus ou moins grande que rencontre l'écoulement à travers le sol, parfois considérable

si l'écoulement est lent, très faible s'il est rapide ou nul. Le voisinage d'une rivière et son régime ont une influence directe sur les variations du niveau de la nappe; mais les eaux souterraines, se tenant à une cote un peu plus élevée que les eaux de superficie dans lesquelles elles se déversent, en restent nettement distinctes, et l'on peut creuser un puits sur la rive même ou dans le lit du cours d'eau sans y trouver autre chose que l'eau de la nappe caractérisée par une composition chimique très différente : les crues de la nappe sont parallèles et consécutives à celles de la rivière, mais les *décrues* sont d'ordinaire plus lentes. Au bord de la mer, l'eau des puits reste souvent douce alors même que leur niveau éprouve des oscillations en rapport avec le jeu des marées.

Si le terrain est peu perméable et plus ou moins fissuré, la nappe y est discontinue et irrégulière : le niveau de l'eau dans les puits est très variable et, tandis que les uns donnent un produit abondant, les autres sont complètement secs ou ne fournissent qu'un débit tout à fait insignifiant.

Si la couche superficielle est imperméable et recouvre une couche perméable dans laquelle se trouve la nappe des puits, les eaux de cette nappe ne sont plus alimentées par les eaux de pluie tombées dans le voisinage. Provenant d'infiltrations qui se produisent en des points éloignés, elles sont moins exposées à des variations fréquentes de niveau. Elles sont aussi plus à l'abri des contaminations possibles.

Au contraire, dans le premier des cas que nous venons d'examiner, l'altération des eaux de la nappe est toujours à redouter : le voisinage des villes ou des habitations, celui des usines d'où s'échappent des liquides toxiques et fermentescibles, celui des cimetières peuvent rendre les meilleures eaux parfaitement impropres à l'alimentation, sans même qu'aucun changement dans la couleur, l'odeur, le goût, la limpidité ne vienne le révéler. Un puits contaminé par les déjections d'un malade a été plus d'une fois — des observations certaines l'ont démontré — le point de départ d'une épidémie locale de fièvre typhoïde. Et ce n'est pas à des maléfices imaginaires qu'il faut attribuer l'empoisonnement des puits si fréquemment mentionné au moyen âge.

L'alimentation d'une nappe, quelle que soit l'importance de son bassin souterrain, dépend de l'étendue des affleurements de la couche géologique correspondante, de la quantité de pluie qui tombe dans la région, du degré de perméabilité du sol, etc. Si l'on y puise un cube d'eau supérieur à celui des apports provenant de l'infiltration des eaux pluviales, le surplus est fourni par la réserve séculaire provenant de l'accumulation lente des eaux, qui ne se renouvelle qu'à la longue; on détermine par suite un abaissement persistant du niveau de la nappe, et il peut même arriver qu'on l'assèche entièrement. C'est ainsi que l'on procède lorsqu'on veut exécuter un ouvrage à sec dans un terrain ordinairement imprégné d'eau : on a recours à des *épuisements*. Il est

d'ailleurs assez difficile de se rendre compte de l'abondance probable d'une couche aquifère ; la pente, l'étendue, l'épaisseur de la tranche d'eau donnent sans doute à cet égard des indications utiles ; mais on n'en peut jamais tirer que des probabilités et point de certitude, et il faut recourir à l'expérience directe si l'on veut connaître à peu près exactement le débit qu'une nappe souterraine est capable de fournir.

La composition des eaux de la nappe des puits est extrêmement variable avec la nature du sol, la culture, les engrais employés dans la région, etc. Elle reste assez généralement sans modification jusqu'au bord même des rivières ; c'est pourquoi les galeries captantes, creusées sur les rives dans le but de recueillir de l'eau de rivière par filtration naturelle, donnent le plus souvent des résultats si différents de ceux qu'on en attendait sur la foi d'idées préconçues et erronées. Lorsqu'une eau de puits ne contient ni ammoniaque, ni azote organique, ni chlore, on peut la déclarer bonne presque à coup sûr ; elle est mauvaise ou tout au moins douteuse dans le cas contraire. Assez souvent on trouve cette eau chargée de protosels de fer qui, en présence d'un excès d'oxygène, se transforment en sels de sesquioxyde peu solubles et ne tardent pas à donner à l'eau une couleur de rouille : c'est ce qui est arrivé à Leipzig, il y a quelques années. D'autres fois, cette couleur est due au développement d'une algue spéciale, la *Crenothrix polyspora* de Kühn, qui a été observée à Lille dans les eaux de la distribution, et à Berlin dans celles qui provenaient des puits creusés au bord du lac Tegel.

Quoi qu'il en soit, la nappe des puits, facilement atteinte par une fouille exécutée à sec, et fournissant aisément une eau limpide et fraîche là même où elle est nécessaire pour la consommation, rendra encore bien des services, comme elle en a rendu dans tous les pays et dans tous les temps. Elle est utilisée surtout pour des alimentations restreintes ; habitations isolées, fermes, exploitations agricoles, usines, petites agglomérations y trouvent une ressource précieuse, et c'est elle qui constitue la richesse, la seule cause d'existence des oasis du Sahara.

92. Les nappes profondes. — Comme les nappes des puits, celles que l'on rencontre à une plus grande profondeur dans le sol sont tantôt stagnantes, tantôt en mouvement, suivant les ondulations des couches imperméables sous-jacentes, continues ou discontinues, selon que le terrain perméable qui les renferme est lui-même poreux ou fissuré ; de même aussi, elles sont ordinairement *absorbantes* et peuvent recevoir en certaine quantité les eaux que l'on vient à y déverser.

Mais, moins directement influencées par les variations atmosphériques, par les quantités de pluie tombées, etc., mieux abritées contre les contaminations possibles par les eaux impures répandues à la surface du sol, les nappes profondes ont en général un régime plus constant et leurs eaux une composition plus fixe.

D'autre part, en raison de la dépense à faire pour les atteindre, et de

la difficulté plus grande de puisage, elles sont loin d'être aussi fréquemment utilisées. Lors donc que l'on y a recours, on peut espérer y trouver une alimentation plus sûre, une eau plus constamment semblable à elle-même, et c'est pourquoi elles sont recherchées de préférence à la nappe des puits pour les grands établissements industriels et les distributions d'eau.

Il est vrai que les eaux profondes sont assez souvent plus chargées de sels, parce qu'elles ont fait à l'intérieur du sol un plus grand parcours ou un séjour plus prolongé. Et il est encore plus malaisé d'apprécier la quantité d'eau qu'elles peuvent fournir, bien que quelques-unes, par l'étendue et l'épaisseur de la formation géologique correspondante, paraissent constituer des réservoirs presque inépuisables.

93. Les nappes artésiennes. — Entre les nappes profondes et les nappes artésiennes, il y a une seule différence essentielle : dans ces dernières, l'eau est *en pression*.

Qu'on vienne à percer le toit au-dessous duquel elles sont emprisonnées, l'eau jaillit à une hauteur plus ou moins grande, parfois même dépasse le niveau du sol et s'élève en jet dans l'atmosphère ; l'eau du puits de Grenelle, à Paris, atteint une hauteur de 38 mètres au-dessus du sol.

Cette propriété des nappes artésiennes est utilisée pour la création de véritables sources artificielles qui mettent sans puisage les eaux profondes à la portée du consommateur, à l'endroit même où il se propose de les employer.

Elles constituent donc une ressource extrêmement précieuse, malgré le caractère toujours assez aléatoire des recherches.

On ne peut faire en effet que des hypothèses plus ou moins plausibles sur le débit probable qu'une nappe artésienne est capable de fournir en un point donné. Les études les plus approfondies de la constitution géologique du sous-sol peuvent fort bien se trouver en défaut ; les calculs les plus savants sont aisément déjoués par la moindre irrégularité des couches souterraines. Aussi est-il arrivé bien souvent que des forages, descendus au niveau des nappes artésiennes considérées même comme les plus abondantes, ont donné lieu à de graves mécomptes, soit que l'insuccès ait été immédiat et complet, soit que le débit obtenu tout d'abord ait subi une décroissance progressive plus ou moins rapide, soit enfin que les derniers puits creusés aient déterminé une diminution du débit précédemment fourni par d'autres puits plus anciens.

L'eau des nappes artésiennes a d'ordinaire une température assez élevée qui la rend peu agréable à la boisson : il n'est pas rare de voir cette température atteindre de 25 à 40° centigrades. Souvent aussi elle ne contient qu'une faible quantité de gaz et se rapproche par sa composition des eaux minérales. La proportion des matières solides y y est d'ailleurs extrêmement variable, tantôt très importante, tantôt au contraire bien moindre que dans l'eau des nappes ordinaires ; le der-

nier cas est le plus fréquent et il s'explique sans doute par ce fait que les nappes artésiennes se rencontrent plus généralement dans les terrains arénacés.

94. Les sources. — Le déversement des eaux des nappes souterraines à la surface du sol par des orifices naturels constitue les *sources*. Ce sont en quelque sorte des trop-pleins par où l'eau s'échappe au dehors.

Cette explication, qui nous paraît si évidente aujourd'hui, n'a été donnée cependant qu'à une époque relativement récente, et c'est à Bernard Palissy que l'on en doit attribuer l'honneur. « La cause pourquoi les « eaux se trouvent tant ès sources qu'ès puits, dit-il dans ses *Discours* « *admirables de la nature des eaux et fontaines,* n'est autre qu'elles « ont trouvé un fond de pierre ou de terre argileuse laquelle peut tenir « l'eau autant bien comme la pierre. » Platon plaçait l'origine des sources dans les gouffres du Tartare ; Pline croyait qu'elles proviennent de l'eau de la mer qui en s'infiltrant dans les terres se débarasserait de ses principes salins, et Bacon se ralliait encore à cette théorie ; Descartes lui-même admettait que « les eaux pénètrent par des conduits souterrains « jusqu'au-dessous des montagnes d'où, la chaleur qui est dans la terre « les élevant en vapeur vers leurs sommets, elles y vont remplir les « sources des fontaines et rivières. »

On conçoit que ces trop-pleins des nappes souterraines ne fonctionnent pas toujours d'une façon continue, et qu'à la suite d'une période de sécheresse, quelques-uns d'entre eux ne débitent plus d'eau : ceux-là constituent ces *sources intermittentes* dont la nature et l'origine ont tant exercé la sagacité des hydrauliciens, et qui ont passé si longtemps pour un des phénomènes les plus mystérieux de la nature.

Belgrand distingue les sources en quatre classes. Dans la première, il place celles des terrains imperméables, disséminées partout sur la surface des terres, et d'autant plus nombreuses et plus petites que le sol est plus imperméable. Dans la seconde, celles des terrains entièrement perméables, toujours réunies dans les prairies humides et tourbeuses qui tapissent le fond des grandes vallées, peu nombreuses, mais très abondantes, parce qu'elles sont alimentées par des bassins étendus. La troisième classe comprend les sources qui forment un *niveau d'eau* et apparaissent à la base d'un terrain perméable reposant sur un terrain imperméable ; on les trouve aussi bien à flanc de coteau que dans le fond des vallées. La quatrième se compose des sources artésiennes qui se sont frayé un chemin à travers les terrains imperméables supérieurs, et jaillissent par un puits ou une cheminée naturelle. Le *lieu des sources* est, pour la première classe, la surface même du pays ; pour la seconde, le thalweg des vallées principales ; pour la troisième, la ligne d'affleurement de la couche imperméable sous-jacente ; il n'y en a pas pour les sources de la quatrième classe, qui sont de véritables accidents. Les innombrables sources du Morvan (granit), et de l'Auxois (lias), appartiennent

à la première classe ; les belles sources des terrains calcaires de la Bourgogne (oolithe), de la Champagne et de la Normandie (craie), de la Brie (terrains tertiaires), auxquelles on s'est adressé pour l'alimentation de Paris, à la seconde. Les niveaux d'eau les plus remarquables du bassin de la Seine sont ceux qui apparaissent au contact du calcaire oolithique et du lias, de la craie blanche et du terrain crétacé inférieur, des sables supérieurs et des marnes vertes.

Certaines sources semblent être la réapparition de rivières qui, après avoir coulé quelque temps à ciel ouvert, se perdent en passant sur des terrains extrêmement perméables comme pour s'y écouler souterrainement : telle est, par exemple, la belle source de Laignes (Côte-d'Or), qui donne naissance au cours inférieur de la rivière de même nom dont le lit est à sec en amont sur près de 20 kilomètres. En pareil cas, le débit de la source est d'ordinaire très supérieur à celui du cours d'eau avant sa disparition, et par suite il serait plus exact de dire qu'elle constitue l'exutoire d'une nappe souterraine à laquelle le ruisseau disparu est venu apporter son tribut.

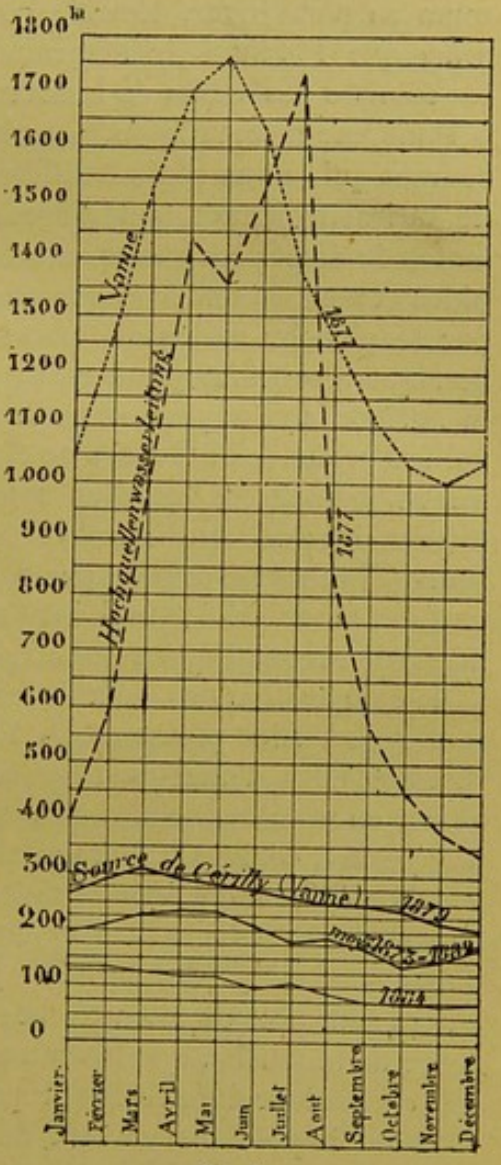


Fig. 6.

La quantité d'eau fournie par une source n'est point constante. Ses variations sont en général consécutives de la quantité de pluie tombée dans la région. Elles se produisent toutefois avec une certaine lenteur, qui tient sans doute à la résistance que l'écoulement de l'eau éprouve dans le sous-sol, et restent assez souvent dans des limites restreintes, parce que le réseau souterrain qui alimente la source remplit l'office de régulateur. Cependant on observe, à la suite de pluies torrentielles ou continues, de véritables crues des sources, dont l'eau perd alors quelquefois sa transparence habituelle pour devenir laiteuse dans les terrains calcaires, et plus ou moins jaune ou rougeâtre dans les terrains arénacés. Le régime des sources est fort différent, d'ailleurs, suivant les circonstances climatériques de la contrée et la constitution géologique du sol ; assez régulier dans les terrains perméables de grande épaisseur,

où le rapport des débits maxima et minima peut descendre à 1/4, 1/3 et même 1/2, il est très variable au contraire dans les terrains imperméables. Le maximum du débit se présente le plus souvent dans la saison humide, en hiver, dans nos pays ; mais il arrive aussi qu'il se trouve correspondre au plus fort de la saison sèche lorsque les sources sont alimentées par l'eau des glaciers et la fonte des neiges : les sources de la Vanne, captées pour l'alimentation de Paris, sont dans le premier cas ; elles donnent leur minimum de débit en octobre, et leur maximum en avril. Au contraire, celles qu'un aqueduc amène du Semmering à Vienne ont leur minimum en plein hiver, décembre ou janvier, et leur maximum dans l'été, ainsi que l'indique le diagramme (*fig.* 6) où l'on a représenté en outre les courbes des débits de la source de Cérilly (Vanne).

Dans une même région, dans la même vallée, on trouve souvent des sources qui ont un régime différent : les unes sont *pérennes*, c'est-à-dire ne tarissent jamais, ou n'éprouvent que des variations relativement lentes de débit ; les autres, au contraire, présentent des changements rapides et sont de temps en temps à sec. Ces différences s'expliquent soit par le plus ou moins d'importance des réservoirs souterrains correspondants, soit tout simplement par l'influence de la pente que prend la surface des nappes dans les terrains perméables drainés par des vallées profondes : la hauteur de la nappe variant avec l'humidité de la saison, les sources les plus rapprochées des faîtes tarissent lorsque le niveau descend au-dessous de leur point d'émergence, tandis que les sources basses ne cessent pas d'être alimentées. Quelques-unes présentent des singularités résultant de l'existence de siphons naturels, de ramifications compliquées des conduits, de cantonnements d'air, etc.

La composition des eaux de source est celle même des nappes souterraines d'où elles proviennent. Peut-être, en débouchant à l'air libre, se chargent-elles d'une quantité de gaz un peu plus grande, mais leur teneur en matières solides ne varie pas, sauf pour quelques sources dites *pétrifiantes*, comme la fontaine de Saint-Allyre, en Auvergne, qui laissent immédiatement déposer un excès de carbonate de chaux et recouvrent d'une couche calcaire les objets que l'on vient à y plonger. Les plus pures sont celles des terrains primitifs, les *eaux de roche ;* toutes les autres sont plus ou moins riches en sels minéraux. Quelquefois, la présence de la tourbe, que les eaux de source rencontrent à leur sortie du sol, « sans leur donner des propriétés précisément malfaisantes, peut les « rendre impotables en leur donnant un mauvais goût... ; les eaux du « Morvan, qui sont d'une pureté extrême, ont assez souvent une saveur « herbacée très prononcée [1] », qui les rend désagréables à boire. De même que les nappes, les sources ne sont pas absolument à l'abri de toute contamination par les déjections répandues à la surface ou dans

1. Belgrand. *La Seine*, p. 120.

l'intérieur du sol ; l'altération de leurs eaux est plus à craindre lorsqu'elles sont dues à des courants souterrains, rapides et abondants, que si elles sont alimentées par une filtration lente à travers les terres, dont l'effet est d'ordinaire une épuration progressive. On peut dire, cependant, que les eaux de source sont en général peu exposées à des dangers de ce genre, et que, sauf des cas tout exceptionnels et assez rares, elles sont très pauvres en matières organiques et extrêmement salubres.

La température des eaux de source présente l'invariabilité caractéristique des eaux souterraines, et s'écarte le plus souvent très peu de la température moyenne de l'air dans la localité ; la source du Rosoir, à Dijon, marque presque constamment 10°, à quelques dixièmes de degré près ; la source de la Dhuis 9°,7 à 10°,7 ; celles de la Vanne 9°,5 à 11° ; les sources qui alimentent les aqueducs de Rome, 14° à 16° ; celles que l'on rencontre dans les montagnes, 5° à 8°.

La limpidité et la fraîcheur sont les qualités qui ont fait des eaux de source l'eau potable par excellence. A toute époque, les populations ont eu pour ces eaux une préférence instinctive, qui, venant s'ajouter au charme mystérieux d'une origine en apparence surnaturelle, a contribué à en faire un objet de vénération ; plus d'un peuple primitif leur a consacré un culte, et dans les campagnes il n'est pas rare de leur voir attribuer encore des effets miraculeux.

95. Composition des eaux souterraines. — Il résulte du mode même de formation des eaux souterraines, qu'elles doivent être, en général, moins chargées de gaz et de matières organiques que les autres eaux et contenir une plus forte proportion de matières solides.

On y trouve, en effet, d'ordinaire, un peu moins de gaz dissous que dans les eaux météoriques et superficielles ; et, dans la composition du mélange gazeux, l'oxygène entre assez souvent en proportion moindre, tandis que l'acide carbonique y est plus abondant : ce que l'on explique par les combustions lentes qui ont lieu dans l'intérieur du sol. Ainsi, l'analyse des gaz dissous dans l'eau de la Dhuis et dans celle des sources de la Vanne a donné :

	Dhuis	Vanne
	cc	cc
Oxygène	7,2	6,4
Azote	13,6	14,9
Acide carbonique	23,4	20,3
	44,2	41,6

par litre.

L'ammoniaque, que les eaux de pluie renferment en notable quantité, et qu'on rencontre en bien moindre proportion dans les eaux de superficie, se retrouve plus abondante dans les eaux profondes. La moyenne des résultats obtenus par la Commission anglaise de la pollution des rivières a été de $0^{mg},29$ par litre pour la pluie, $0^{mg},02$ pour les eaux de

superficie et $0^{mg},12$ pour les eaux de nappes profondes ; mais elle accuse $0^{mg},01$ seulement d'ammoniaque pour les eaux de source.

Les matières organiques sont rares dans les eaux souterraines, soit parce qu'elles ont été retenues par les terres et par la végétation, soit qu'elles aient été transformées, par l'oxydation, en nitrates ; on n'en trouve guère en quantité un peu notable que dans certaines eaux de la nappe des puits particulièrement exposées à des contaminations par suite de quelque voisinage fâcheux. Cependant, les eaux profondes mêmes n'en sont jamais absolument dépourvues, et il arrive assez souvent qu'il s'y développe des végétations dès qu'elles voient le jour et se trouvent exposées à l'air libre. Et, bien que certains auteurs aient affirmé, probablement sur la foi de considérations théoriques trop absolues, que les eaux de source et les eaux des nappes profondes ne contiennent pas de germes organisés ou de microbes, les faits observés semblent démontrer qu'il n'y a pas d'eau naturelle qui en soit totalement exempte ; dans les eaux les plus pures qui aient été consacrées à l'alimentation, le microscope décèle la présence de quelques bactéries, en petit nombre il est vrai, mais cela suffit pour que l'on doive admettre qu'aucune eau n'est absolument stérile.

La proportion relativement grande de matières solides dissoutes est un des traits caractéristiques des eaux souterraines. L'analyse d'un nombre très considérable d'échantillons a fourni à la Commission anglaise de la pollution des rivières les chiffres moyens suivants :

438 milligrammes par litre pour les eaux des nappes profondes et 282 milligrammes par litre pour les eaux de source, contre 96 milligrammes par litre pour les eaux de superficie.

Cette proportion est peu influencée par les variations atmosphériques, bien que parfois la teneur saline d'une eau diminue légèrement après de grandes pluies. Elle dépend surtout de la nature des terrains dans lesquels les eaux se sont accumulées ; ainsi, en Angleterre, on a trouvé qu'elle passe de 306 milligrammes par litre (grès rouge) à 831 milligrammes (terrain houiller) ; en Allemagne, de 70 milligrammes (granit) à 418 (dolomie) et 2.365 (gypse)[1] ; en Bohême, de 46 milligrammes (terrains primitifs) à 1.200 (étage silurien). Voici les quantités de sels trouvées dans quelques eaux de source et dans certaines eaux artésiennes en France :

Eaux de source :			
Distribution d'eau de Paris.	Vanne...	225 milligr. par litre.	
	Dhuis...	297	—
	Arcueil.	527	—
—	de Lille (Seclin).	359	—
—	du Havre.....	368	—
—	de Besançon.....	280	—

1. Reichhardt.

Eaux de source :	
Distribution d'eau de Dijon	260 milligr. par litre
— de Fécamp	320
Sources de la Somme-Soude (Champagne)	110
Sources de la Vigne (Normandie)	240
Eaux artésiennes :	
Puits de Grenelle à Paris	142
— Passy —	141
— Rouen	133
— Perpignan	230
— Tours	320
— Cambrai	605
— Elbeuf	710

La composition du résidu solide est d'ailleurs très variable elle-même. Les matières qu'on y rencontre le plus souvent sont des carbonates, silicates, phosphates, nitrates, sulfates de chaux, de fer, de magnésie, des sels alcalins, de l'alumine, des chlorures, des oxydes, des sulfures, etc.

96. Emploi des eaux souterraines. — Dès l'apparition de l'homme sur la terre, il a puisé dans les sources, en même temps que dans les cours d'eau, l'eau nécessaire pour étancher sa soif ; c'est auprès des sources que les caravanes installent leurs tentes, et plus d'un groupe de population n'a pas eu d'autre origine. La fraîcheur, la limpidité des eaux de source invitent, en effet, à la boisson, et pour cet usage elles ont une incontestable supériorité qui les a fait rechercher de tout temps et dans tous les pays. Les progrès de la science, en montrant que ces eaux sont presque exemptes de matières organiques et de corpuscules organisés, sont venus donner tout récemment une éclatante justification de cette préférence naturelle si marquée et si générale.

L'usage des eaux de la nappe des puits remonte à la plus haute antiquité ; il n'est guère de contrée où leur emploi n'ait été fort anciennement répandu, quoiqu'il suppose déjà un travail de recherche et l'exécution d'un ouvrage spécial. L'eau des puits est presque toujours fraîche et limpide, et la facilité avec laquelle on se la procure, bien souvent à l'endroit même où elle est utile, constitue en sa faveur un avantage manifeste. Malheureusement, elle est très exposée à la contamination progressive que tant de causes diverses tendent à provoquer partout où il y a des habitations et des terres en culture, et il en résulte qu'elle sera de moins en moins utilisée dans les villes. D'ailleurs, le débit d'une nappe est généralement limité ; et, pour peu que les puits se rapprochent, chacun d'eux ne s'alimente qu'au détriment des voisins, de sorte que la quantité peut assez souvent faire défaut en même temps que la qualité. Mais ces inconvénients disparaissent dans les campagnes, où les établissements sont éloignés les uns des autres, et l'eau des puits est appelée à y rendre toujours des services considérables.

La recherche des eaux profondes ou artésiennes implique des études délicates, l'exécution de travaux d'une certaine importance, l'emploi d'un outillage spécial. Aussi est-ce à une époque relativement moderne que l'on a commencé à recourir à ces eaux. Les premiers puits jaillissants paraissent avoir été creusés vers le XII[e] siècle dans le comté d'Artois, auquels ils ont emprunté le nom qu'ils portent encore ; peut-être ont-ils été connus plus anciennement en Chine. La température élevée de l'eau qui s'en échappe la rend souvent peu propre à la boisson ; excellente au contraire dans la majorité des cas pour le lessivage du linge, l'alimentation des chaudières, la teinture, etc., elle est assez recherchée par l'industrie, qui prise ses qualités particulières et apprécie surtout les conditions de remarquable économie auxquelles il lui est fréquemment possible de se la procurer. Quant aux nappes profondes, elles fournissent presque toujours des eaux fraîches qui par leur nature, leur aspect, leur composition, sont à peu près l'équivalent des eaux de source. S'il n'y avait pas en général des installations compliquées et de grosses dépenses à faire pour les amener à la portée des consommateurs, en même temps qu'une très grande incertitude dans l'évaluation des débits probables, elles seraient sans doute plus recherchées qu'elles ne l'ont été et ne le sont encore pour l'alimentation des villes.

CHAPITRE VI

RECHERCHE, EXAMEN ET CHOIX

DES EAUX DESTINÉES A L'ALIMENTATION

Sommaire :

§ 1er. *Étude des ressources d'une région.* — 97. Considérations générales. — 98. Examen hydrologique et géologique du pays. — 99. Hydroscopie.

§ 2. *Détermination des quantités d'eau disponibles.* — 100. Étude de l'importance des ressources. — 101. Eaux superficielles. — 102. Sources. — 103. Nappes souterraines.

§ 3. *Examen qualitatif des eaux :*

a. *Examen préliminaire :* 104. Caractères physiques. — 105. Étude des circonstances locales.

b. *Analyse chimique :* 106. Généralités. — 107. Prise d'échantillon. — 108. Matières en suspension. — 109. Gaz dissous. — 110. Résidu solide total. — 111. Détermination des quantités de certains corps en dissolution. — 112. Matières organiques. — 113. Résultats des analyses et conclusions.

c. *Méthodes rapides :* 114. Hydrotimétrie. — 115. Essais sommaires.

d. *Examen micrographique :* 116. Utilité de ce nouveau mode d'examen. — 117. Indication sommaire des méthodes. — 118. Résultats.

e. *Résultats de l'examen qualitatif de diverses eaux :* 119. Analyses chimiques. — 120. Degrés hydrotimétriques. — 121. Microbes.

§ 4. *Du choix à faire entre diverses eaux pour l'alimentation d'une ville.* — 122. Comparaison générale des eaux de diverse nature. — 123. Étude des conditions locales. — 124. Qualités requises. — 125. Quantités nécessaires. — 126. Dépense. — 127. Alimentation multiple. — 128. Difficulté du choix.

§ 1er

ÉTUDE DES RESSOURCES D'UNE RÉGION

97. Considérations générales. — Lorsqu'on entreprend l'étude d'une distribution d'eau pour l'alimentation d'une ville, il s'agit le plus souvent de remplacer par un système général et unique les anciens modes d'alimentation jugés défectueux, et qui, d'ordinaire, dus à l'initiative privée, consistent dans l'utilisation de l'eau de pluie ou de l'eau de la nappe au moyen de citernes ou de puits. Dès lors ces deux natures d'eau se

trouvent immédiatement écartées : elles conviennent du reste assez peu pour une distribution d'eau ; il est trop difficile de recueillir l'eau de pluie en grande quantité, et la nappe des puits est trop exposée soit à des diminutions de débit par suite de puisages abondants au voisinage, soit à des altérations de qualité par l'effet de l'infiltration dans le sol des eaux chargées de détritus.

On a donc recours, en général, aux rivières, aux lacs, aux sources ou aux nappes profondes.

Avant l'invention des *machines élévatoires*, on ne savait pas employer les eaux de nappes profondes non artésiennes, et l'on ne pouvait guère recourir qu'aux sources ou aux eaux superficielles dont le niveau était supérieur à celui des points à desservir et qui pouvaient y être amenées par l'action de la gravité.

Depuis, le champ des recherches s'est considérablement étendu, et l'on peut maintenant utiliser aussi bien les nappes profondes que les eaux de drainage ou de superficie, quel que soit le niveau de la prise par rapport à celui que l'on veut atteindre.

En d'autres termes, toutes les eaux de la région qui avoisine une agglomération urbaine peuvent être indifféremment employées à son alimentation, si elles présentent les qualités convenables : les moyens dont dispose actuellement l'art de l'ingénieur permettent en effet de vaincre tous les obstacles naturels, et dans le choix à faire il n'y a plus à en tenir compte que comme d'un élément, important il est vrai, de la dépense.

Suivant les divers modes de prise ou de captage auxquels se prêtent les eaux employées pour l'alimentation des villes, elles rentrent ordinairement dans l'une des cinq catégories suivantes :

Eaux superficielles (rivières, lacs, etc.) ;

Eaux de source ;

Eaux de drainage ;

Eaux profondes ;

Eaux artésiennes ou jaillissantes.

Tout naturellement on s'adresse d'abord aux sources et aux eaux de superficie, aux eaux *apparentes* ; en second lieu viennent les eaux de *drainage*, récoltées dans le sol aux dépens de la première nappe en des points éloignés des habitations, et qui étaient déjà connues des anciens et utilisées par eux ; et c'est seulement à défaut d'eaux disponibles de ces trois premières catégories que l'on va rechercher plus profondément dans le sol celles des deux autres.

98. Examen hydrologique et géologique du pays. — Si l'on veut procéder d'une manière rationnelle et ne faire un choix qu'à bon escient, la première étude à entreprendre en vue de l'établissement d'une distribution d'eau consiste dans l'examen des diverses solutions possibles,

dont il convient de dresser l'état complet, l'inventaire pour ainsi dire, afin de les soumettre à une comparaison instructive.

A cet effet, on procède à une reconnaissance générale de la distribution naturelle des eaux dans la région qui entoure immédiatement la localité considérée, de manière à bien connaître l'*hydrologie* du *bassin* dans lequel elle se trouve située. Dans le cas où les résultats de cette reconnaissance ne sont point satisfaisants, et seulement dans ce cas, on peut être conduit à porter plus loin les investigations et à chercher mieux, au delà des limites du bassin, soit dans les bassins contigus, soit dans quelques autres plus éloignés. L'étude hydrologique n'est d'ailleurs pas complète si elle n'a porté que sur les eaux apparentes, et si l'on ne s'est pas rendu compte de la situation, de l'étendue et de l'importance des nappes supérieures qui pourraient se prêter à des drainages et sur lesquelles les puits isolés dans la campagne fournissent d'utiles indications.

Un examen *géologique* est nécessaire si l'on veut en même temps apprécier la possibilité de recourir à des forages et les chances que l'on aurait d'obtenir des eaux profondes ou artésiennes. Le plus souvent on trouve des indications, à cet égard, dans des travaux antérieurs faits à d'autres points de vue dans la région, cartes géologiques, recherches de mines, forages entrepris par l'industrie, carrières, etc.

Le beau livre de Belgrand, *La Seine*, où l'éminent ingénieur a résumé les remarquables travaux auxquels il s'est livré en vue de la discussion complète du problème de l'alimentation de Paris, est le modèle d'une étude de ce genre. Orographie, hydrologie, météorologie, géologie, régime des cours d'eau et des sources, porosité du sol, influence des forêts, etc., tout s'y trouve réuni. C'est un vaste ensemble résumé en quelques chapitres sous une forme saisissante ; et, tant qu'on ne sortira pas, pour l'alimentation de la capitale, du bassin de la Seine auquel Belgrand a volontairement limité ses recherches, son livre restera la base de toutes les études qui peuvent être entreprises désormais afin d'augmenter l'approvisionnement d'eau de Paris. Il y a montré en outre l'influence des reliefs du sol sur la répartition des pluies, de la perméabilité des couches superficielles sur le nombre et le régime des cours d'eau, de la constitution géologique du sous-sol sur la composition des eaux ; il y a fait ressortir, à la suite d'une comparaison détaillée et approfondie, les avantages que présentent les eaux de source pour les usages domestiques ; il y établit enfin une classification rationnelle de ces eaux.

Les plus pures, celles des terrains *arénacés*, quel que soit leur âge (*granit, green sand, sables de Fontainebleau*), sont, en général, peu abondantes. Celles qui viennent ensuite, au contraire, fournies par les *calcaires non argileux* (*craie blanche de la Champagne et de la Normandie, calcaire de Beauce, terrains oolithiques de la Bourgogne*) sont ex-

trêmement abondantes, et, malgré l'inconvénient d'une dureté un peu plus grande, constituent la ressource la plus précieuse pour l'alimentation de Paris. Les *marnes vertes,* l'*argile plastique,* les *calcaires oolithiques marneux*, les *terrains tertiaires* entre l'argile plastique et les marnes vertes, fournissent encore quelques sources, mais notablement plus riches en carbonate de chaux. Enfin, en dernière ligne, arrivent les eaux séléniteuses du *lias* et des terrains qui avoisinent la grande lentille de *gypse* du bassin parisien.

99. Hydroscopie. — Lorsque, à défaut d'eaux superficielles ou de sources apparentes, on est contraint de rechercher pour l'alimentation des eaux souterraines, il n'est point d'autre guide scientifique que l'étude géologique du sol, point d'outil qui puisse remplacer la *sonde.*

Mais la science de la géologie et l'art du sondeur sont tout modernes, et, dès l'antiquité, on a cherché à utiliser l'eau des nappes et des cours d'eau souterrains que l'on savait découvrir par des procédés plus ou moins mystérieux. Ces procédés étaient déjà connus des Grecs, et les Romains avaient pour les chercheurs d'eau ou *aquilèges* les plus grands égards. Pline et Vitruve ont décrit quelques-uns des moyens employés pour la découverte des eaux souterraines : tantôt c'est l'observation des vapeurs qui s'élèvent au-dessus des terrains à l'intérieur desquels circulent les veines liquides, tantôt la recherche des points où séjournent de préférence les moucherons ou les grenouilles, de ceux où végètent les roseaux, les joncs, le baume sauvage, bien qu'on n'y aperçoive pas d'eaux superficielles. A une époque plus rapprochée de nous, on a eu recours à la *baguette divinatoire,* fourche de bois de coudrier, qui devait s'incliner irrésistiblement vers la terre pour indiquer la présence de sources souterraines, renouvelant ainsi le miracle de Moïse après la traversée de la mer Rouge : Jacques Aymard fit grand bruit à Paris, en 1693, avec ce talisman.

Même de nos jours, l'*hydroscopie* — c'est ainsi que l'on nomme l'art de découvrir les sources — est restée en honneur. L'abbé Paramelle, curé de Saint-Céré, s'est fait une célébrité, il y a quelque quarante ans, en se consacrant à la recherche des eaux souterraines, et, dans un ouvrage spécial, il a exposé les principes de son art et formulé les règles qu'il en avait déduites. Partant d'un aphorisme de Sénèque : *Crede infra quidquid vides supra* — qui est exact sans doute dans le cas où la surface imperméable souterraine est parallèle à celle du sol, mais ne l'est plus si cette condition n'est pas remplie, c'est-à-dire dans le cas général — il admet que la nappe souterraine se forme et se déplace de la même manière que les eaux de superficie; il calcule la profondeur à laquelle on peut espérer rencontrer l'eau d'après le niveau des puits, l'inclinaison des versants du vallon et l'examen de la pente des couches imperméables; il apprécie le débit probable en partant de ces bases : que le rapport annuel du débit des sources à la quantité de pluie est

d'environ 1/12; que les couches détritiques de 2 à 8 mètres d'épaisseur, reposant sur une couche imperméable suffisamment inclinée, produisent après une sécheresse ordinaire 4 litres par minute pour 5 hectares de superficie. Ces règles empiriques peuvent, on le conçoit, se vérifier assez souvent, mais elles laissent une large part à l'aléa : elles donnent fréquemment une probabilité, jamais une certitude.

L'abbé Paramelle a, aujourd'hui encore, des émules, des imitateurs en France, en Allemagne, etc., et plus d'un spécialiste prétend avoir le don naturel qui permet, en parcourant un pays, de désigner les points où passent les eaux souterraines : il y a encore des *hydroscopes*. Ils rendent incontestablement des services dans certains cas, en l'absence d'études géologiques et hydrologiques approfondies dans la région, et fournissent des indications utiles pour la recherche des eaux au moyen de sondages, lorsqu'on n'en a pas de plus scientifiques.

§ 2.

DÉTERMINATION DES QUANTITÉS D'EAU DISPONIBLES

100. Étude de l'importance des ressources. — Les ressources auxquelles on peut recourir pour l'alimentation d'une ville étant déterminées, il convient de se rendre compte des quantités d'eau qu'elles sont capables de fournir.

A ce sujet, nous nous bornerons à donner quelques considérations générales, renvoyant aux ouvrages spéciaux pour la description des procédés et des appareils de *jaugeage*.

Ce qu'il importe de connaître en général, remarquons-le tout d'abord, ce n'est point le débit moyen du cours d'eau, de la source, de la nappe où l'on se propose de puiser, encore moins le débit maximum, mais le *débit minimum*, qui seul fournit la limite des ressources disponibles en tout temps. Il y a intérêt à déterminer ce minimum aussi exactement que possible, ainsi que l'époque où il se produit, si l'on veut éviter des mécomptes ultérieurs.

Faute de pouvoir le faire directement, on raisonne parfois par analogie, et l'on cherche à déduire le résultat de quelques faits constatés non point sur la source d'alimentation même dont on s'occupe, mais sur quelque autre de nature peu différente, et qui se trouve dans la même région climatérique. Il faut se défier de ce genre d'assimilation qui n'est pas sans danger : rien n'est plus variable, en effet, que le régime hydraulique des diverses localités, et, en concluant de l'une à l'autre, on s'expose souvent à de grossières erreurs.

101. Eaux superficielles. — Les eaux courantes passent sans cesse par des périodes successives de crue et de décrue dont les lois sont elles-mêmes fort variables. Il peut y avoir intérêt à étudier leur régime

en tout temps, mais c'est pendant les époques de sécheresse qu'il est le plus utile de les jauger.

A cet effet, s'il s'agit de petits cours d'eau, on établit un *déversoir*, de la largeur du lit autant que possible, et en mince paroi ; ou l'on se sert des ouvrages existants, barrages mobiles, vannages des usines, etc. Pour les grands cours d'eau, où les mêmes moyens ne sont pas applicables, on se sert de *flotteurs* dont on note le passage en deux points déterminés qui doivent être aux extrémités d'une section à profil sensiblement uniforme, et l'on détermine ainsi la *vitesse superficielle* un peu supérieure à la vitesse moyenne (5/4 environ) ; on peut aussi chercher à obtenir directement la *vitesse moyenne* au moyen de *flotteurs de fond* ; ou, si l'on veut plus de précision encore, on a recours au *tube de Pitot et Darcy* ou au *moulinet de Woltmann*.

Pour qu'un cours d'eau puisse satisfaire à des besoins donnés, il faut qu'en tout temps son débit soit supérieur au volume jugé nécessaire, et réponde notamment au maximum des besoins, à quelque moment qu'il vienne à se produire, quand bien même il coïnciderait, comme il arrive souvent dans les pays à climat tempéré, avec le minimum du débit. Et cela ne suffit pas si le cours d'eau est déjà consacré à d'autres usages que l'on est tenu de respecter, irrigations, moulins, etc. ; alors le seul volume d'eau disponible est celui qui est superflu pour ces usages, à moins que l'on ne parvienne, par un système de *compensation*, à restituer aux usagers l'eau qu'on aurait à leur enlever. C'est dans ce but que l'on crée parfois de vastes réservoirs artificiels où s'emmagasinent les eaux surabondantes en temps humide et qui sont destinés à fournir en temps sec l'appoint nécessaire pour compléter le débit requis. Ce procédé, fort usité en Angleterre, et appliqué, quoique moins fréquemment, dans tous les pays, rend des services précieux lorsque les vallées sont assez encaissées et le sol suffisamment imperméable pour se prêter à la construction de barrages-réservoirs sans dépenses exagérées ; il sert soit à fournir l'eau nécessaire à l'alimentation de manière à ne porter aucune atteinte aux droits des usagers, soit à rendre à ces derniers un volume d'eau équivalent à celui qui leur a été enlevé en vue d'une distribution d'eau. L'établissement de semblables ouvrages exige des études spéciales sur la quantité annuelle de pluie, le régime des eaux, la perméabilité du sol, l'importance de l'évaporation, etc.

Les lacs sont des réservoirs de compensation du même genre, que la nature a mis à la disposition de l'homme. Lorsqu'ils ont un émissaire, on peut, en jaugeant le débit de cet émissaire, se rendre compte du volume d'eau qu'il est possible de leur emprunter. Quelquefois on observe de très grandes variations du niveau du lac et du débit de l'émissaire : c'est que la capacité du lac n'est pas suffisante pour établir une compensation complète, et l'on peut y remédier en relevant le plan d'eau artificiellement, pour augmenter le volume emmagasiné. Lorsque le lac

n'a point d'émissaire, il est plus malaisé d'évaluer la quantité d'eau qu'il peut fournir, et, pour y parvenir, on est obligé de recourir à une étude approfondie de son régime, de ses variations de niveau, de son mode d'alimentation, etc.

102. Sources. — Des jaugeages précis et des observations continues sont encore plus nécessaires pour les sources, car si on trouve assez souvent dans un cours d'eau une quantité bien supérieure aux besoins à desservir, une source ne fournit, assez souvent, que tout juste le volume indispensable à l'alimentation d'une distribution d'eau, ou même une fraction seulement de ce volume.

Si le débit de la source considérée est peu important, on en fait un jaugeage direct, en constatant le temps nécessaire pour le remplissage d'une capacité déterminée : ce procédé primitif est le plus exact de tous.

Lorsque le débit est plus considérable, on établit le plus souvent un déversoir sur l'évacuateur du bassin sourcier. Mais on doit faire en sorte que le niveau naturel de la source ne soit pas modifié : on risque, en effet, si on l'élève, de diminuer le débit en augmentant la charge sur les orifices naturels des filets liquides, ou en créant des écoulements nouveaux à travers des fissures que l'eau n'atteint pas d'ordinaire ; et, si on l'abaisse, il est à craindre qu'il ne résulte de cet abaissement même un accroissement momentané du débit, dû à la vidange partielle du réservoir naturel alimentaire, et qui serait suivi bientôt d'une diminution persistante.

On ne doit jamais omettre d'observer le régime d'une source pendant au moins une année entière, afin de connaître le *minimum annuel* de son débit et l'époque où il se produit, et s'il se peut pendant plusieurs années consécutives et surtout pendant une période de sécheresse pour en déterminer le *minimum absolu* : plus longue est la durée des observations, plus la sécurité qu'elles procurent est grande, car il ne faut pas oublier que certaines sécheresses ne se reproduisent que tous les dix, quinze, vingt ans. Dans la plupart des cas, le temps manque pour faire des observations aussi prolongées ; et, afin d'y suppléer, on a recours soit aux souvenirs des habitants de la contrée, bien que les renseignements qu'ils fournissent soient d'ordinaire bien vagues et bien insuffisants, soit à des comparaisons par analogie, dont il convient de n'user d'ailleurs qu'avec une extrême réserve.

Remarquons, en passant, que les observations les plus consciencieuses ne sauraient donner une sécurité parfaite : certaines sources autrefois utilisées ont disparu ; on retrouve d'anciens aqueducs dans des vallons aujourd'hui desséchés ; et si l'on ne dispose pas d'un *périmètre de protection* suffisant, des travaux exécutés dans le voisinage d'une source, des forages, le percement de galeries de mines, l'ouverture d'un souterrain de chemin de fer peuvent en amener la suppression

subite ou en réduire sensiblement le débit. Ce sont là sans doute des dangers exceptionnels, mais qu'il convient pourtant de signaler.

103. Nappes souterraines. — Pour apprécier le débit que peut fournir une nappe souterraine il n'est plus possible de recourir à un jaugeage, et l'on se trouve en présence d'une difficulté bien plus grande.

Il convient d'examiner d'abord si la nappe dont il s'agit est stagnante ou animée d'une certaine vitesse, si c'est un lac ou un cours d'eau souterrain. Pour cela, et à défaut de carte hydrologique, on utilise les observations faites sur les puits existants ou dans les forages antérieurs; ou bien on procède à une série de forages spéciaux, et l'on trace les courbes de niveau de la nappe : ces courbes, si elles sont assez étendues, indiquent nettement soit une réserve d'eau dans une cuvette naturelle, soit un courant dans le thalweg d'une vallée souterraine.

Le cas d'une nappe d'eau en mouvement est toujours plus favorable, car il implique nécessairement un débit d'une certaine importance; tandis qu'une nappe stagnante peut être de formation ancienne et ne se renouveler que très lentement. On apprécie la vitesse de l'eau en mouvement dans le sol, soit au moyen de relevés comparatifs des hauteurs variables de son niveau dans deux ou dans un plus grand nombre de puits, soit par des observations sur le retard des crues de la nappe par rapport à celles de la rivière à laquelle elle correspond, soit en observant le temps au bout duquel une substance dissoute (sel marin ou matière colorante) passe d'un puits à un autre, etc. Il reste à connaître la section d'écoulement, que l'on détermine par une série de forages suivant une ou plusieurs lignes perpendiculaires au courant.

Dans le cas d'une eau dormante, la constatation, par le moyen de forages, de l'étendue de la nappe, de son épaisseur, de ses pentes superficielles, ne donne d'indications que sur l'importance de la réserve; et, pour apprécier l'alimentation du lac souterrain, il faut recourir à l'étude du bassin, des quantités d'eau de pluie, de la proportion des infiltrations, de la perméabilité du terrain, etc.

Quelque soin que l'on apporte à des opérations de ce genre pour l'évaluation du débit d'une nappe, elles ne conduisent en général qu'à une approximation assez grossière et qui laisse une grande part à l'aléa. Aussi, lorsqu'on veut avoir un résultat plus certain, a-t-on recours le plus souvent à l'expérience directe. Dans un puits, de diamètre suffisant, on installe une pompe, dont le fonctionnement doit être bien régulier et le débit assez grand pour déterminer en peu de temps un abaissement notable du niveau de l'eau dans le puits; on peut arrêter la pompe à un moment donné et laisser remonter l'eau en notant le temps au bout duquel elle reprend son niveau primitif ; la nappe ayant fourni pendant ce temps une quantité d'eau égale à celle qui a été pompée, on en déduit aisément quel est son débit par seconde ou par minute. Mais il est préférable de continuer à pomper, de laisser s'établir un régime et de le

maintenir le plus longtemps possible, d'une manière continue et sans arrêt des pompes; si le niveau moyen de l'eau dans le puits reste invariable, c'est que la nappe fournit sans peine le volume d'eau élevé par les pompes, qui se trouve être une limite inférieure du débit de la nappe dans l'unité de temps. On conçoit que plus l'expérience est prolongée, plus les indications qui en découlent sont sérieuses. Cependant il ne faudrait pas en tirer encore de conclusion absolue, et il est bon de s'assurer que l'abaissement déterminé dans le puits ne persiste pas longtemps après la cessation des épuisements, sans quoi l'on pourrait craindre d'avoir dépassé le débit réel de la nappe et porté atteinte à la réserve séculaire; il est utile aussi de rechercher si l'époque de l'année où l'on opère doit être celle du minimum de débit de la nappe, de peur de mécompte dans le cas contraire. Dans tous les cas, il est prudent de ne jamais compter que sur un volume d'eau notablement inférieur au débit observé ou calculé, quand même il résulterait d'une expérience prolongée et bien conduite.

« Il en est de l'eau souterraine, dit Dupuit, comme des richesses minérales; les sondages préliminaires en font bien reconnaître et apprécier « jusqu'à un certain point l'importance, mais l'exploitation seule fournit « des données positives sur leur étendue et leur puissance. » Dans un cas comme dans l'autre, il faut bien se contenter de probabilités de succès, car il n'est guère possible de parvenir à une certitude complète.

Les prévisions sont particulièrement aléatoires lorsqu'il s'agit d'eaux artésiennes, car ni forage préliminaire, ni expérience directe n'est possible; et, s'il s'agit du premier puits à percer dans une région, on en est réduit à des considérations théoriques, à des conjectures plus ou moins plausibles d'après la connaissance que l'on peut avoir des circonstances géologiques et de la constitution du sous-sol. Lorsqu'il existe déjà des puits artésiens au voisinage du point considéré, on cherche à tirer de l'observation des débits de ces puits des indications au sujet du débit probable que fournira un nouveau forage, en faisant application de la loi donnée par Darcy et Dupuit, et qui consiste en une assimilation complète du mouvement des eaux artésiennes à celui d'un liquide dans une conduite forcée, aussi bien quand ces eaux constituent un courant dans des canaux souterrains, que si elles forment une nappe continue dans une couche arénacée. Une nappe inférieure débitera, généralement, plus qu'une autre nappe qui lui est superposée, en raison de la charge plus grande déterminant l'écoulement ; mais on observe parfois le contraire, et le résultat diffère naturellement suivant la facilité avec laquelle l'eau se meut dans le terrain où elle est emprisonnée. Il convient, en outre, de tenir compte de l'influence qu'exercent les puits voisins les uns sur autres, car le débit total n'est sans doute pas indéfini, et d'ailleurs, le serait-il, que si l'on coupait la colonne jaillissante de l'un des puits, à un niveau inférieur à celui des autres, on augmenterait son débit, mais, en

même temps on déterminerait, presque à coup sûr, une diminution du débit des puits voisins. Puis, une foule de causes accessoires peuvent encore intervenir et modifier le résultat : tantôt, par exemple, il se forme, grâce à l'entraînement des sables par les eaux jaillissantes, une cavité, une poche, à la base du puits, qui facilite l'écoulement et amène une augmentation du débit ; tantôt, la paroi du puits n'étant pas étanche, une partie des eaux s'échappe par des fissures dans les terrains perméables traversés avant de parvenir au niveau du sol, et le débit observé se trouve, par suite, inférieur au volume réellement fourni par la nappe artésienne. D'autre part, il importe peu que les observations soient faites à telle ou telle époque de l'année, car le débit des eaux artésiennes est indépendant des saisons : on conçoit, en effet, que les variations du niveau du réservoir souterrain soient relativement faibles, et la charge, par suite, très sensiblement constante.

§ 3.

EXAMEN QUALITATIF DES EAUX

a. Examen préliminaire.

104. Caractères physiques. — Quand on se trouve en présence d'une eau destinée à l'alimentation, on est tout naturellement porté à la juger d'abord par son aspect, par ses caractères apparents, et ce qui frappe immédiatement c'est sa plus ou moins grande *transparence* et sa *couleur*. Puis, lorsque la vue a prononcé, les sens du toucher, de l'odorat et du goût interviennent et l'on examine la *température*, l'*odeur* et la *saveur* de l'eau. Enfin, si cette eau s'étale à la superficie du sol et y forme un bassin de quelque étendue, on remarque immédiatement les végétaux qui s'y développent, les animaux aquatiques qui y vivent ; et, sans pousser loin les investigations botaniques ou zoologiques, on est plus ou moins favorablement impressionné, suivant qu'on trouve des plantes vigoureuses, au feuillage d'un vert franc, comme le *cresson de fontaine*, les *épis d'eau*, la *véronique*, etc., des poissons ou des crustacés aux mouvements rapides, à la chair délicate, comme la *truite*, l'*écrevisse*, ou que la végétation se rapproche de celle des marais, *roseaux*, *ciguë*, *joncs*, *nénuphars*, *carex*, etc., et que les poissons sont remplacés par des *grenouilles* et autres animaux d'ordre inférieur.

L'eau transparente comme le cristal sous une faible épaisseur, et d'un beau bleu d'azur sous une épaisseur plus grande, est d'un aspect séduisant et invite à la boisson ; l'eau trouble et d'un gris verdâtre est repoussante au contraire. Certaines eaux paraissent claires, mais ne tardent pas à se troubler, si on les conserve, en prenant une teinte blanche ou verdâtre : ce sont des eaux chargées de matières organiques où se développent rapidement des animalcules ou des végétations microscopiques.

D'autres, troubles au moment du puisage, se clarifient par le repos : c'est le cas de celles qui contiennent des matières minérales en suspension. Pour juger de la *limpidité* d'une eau, par comparaison avec une eau connue, on place des échantillons des deux eaux dans des vases identiques et disposés de manière que des tranches d'égale hauteur se détachent sur un fond blanc. Un autre procédé, fort ingénieux, consiste à faire passer un faisceau lumineux à travers les échantillons d'eau placés dans des ballons de verre noirci; on y voit alors apparaître toutes les particules en suspension sur le trajet du faisceau lumineux, comme un rayon de soleil fait miroiter les poussières de l'air dans une chambre obscure.

La température de l'eau fournit presque toujours de précieuses indications. Souvent elle permet de conjecturer son origine; en effet, lorsque cette température est très variable et s'écarte peu de celle de l'air ambiant, on peut affirmer, presque à coup sûr, que l'eau examinée provient surtout d'écoulements superficiels; si elle est constante ou se maintient dans d'étroites limites, il s'agit au contraire d'une eau puisée dans les profondeurs du sol; si elle est très élevée et dépasse notablement la température moyenne de la localité, l'eau est fournie, sans nul doute, par une nappe profonde, et le degré de chaleur permet d'en déterminer assez exactement la situation par rapport au niveau du sol; si elle diffère peu de la température moyenne, l'eau doit être empruntée à une nappe située à une faible profondeur. Parfois, la considération de la température seule permet d'apprécier la proportion de deux eaux de nature différente dans un mélange, et de jauger l'apport de l'une d'elles, connaissant le débit de l'autre ou le débit total. Un thermomètre ordinaire à mercure, suffisamment sensible, et gradué en dixièmes de degré, suffit dans la plupart des cas; et c'est seulement lorsqu'il s'agit d'eaux profondes, et que les indications du thermomètre pourraient être altérées pendant le trajet, que l'on a recours à des instruments spéciaux.

L'odorat décèle la présence de très faibles quantités d'acide sulfhydrique, surtout si l'on a soin d'agiter l'eau en petite quantité dans un flacon à demi rempli. Il arrive souvent que la présence de l'acide sulfhydrique masque certaines odeurs qui apparaissent après l'addition d'une faible quantité de sulfate de cuivre. D'autres ne se dégagent que lorsque l'eau est tiède, à la température de 40°, par exemple. Toute odeur est une indication fâcheuse qui révèle la présence certaine d'impuretés et doit à elle seule faire rejeter une eau proposée pour l'alimentation.

Le goût ne décèle que la présence d'une assez forte proportion de sels. D'une sensibilité très différente suivant les individus, il peut être, en outre, singulièrement aiguisé par l'exercice. Aussi les limites données par certains auteurs n'ont-elles qu'une valeur relative : telle personne trouve une eau *salée* lorsqu'elle contient 1 gramme de chlorure de sodium par litre, telle autre ne sent rien ou croit reconnaître un goût de bois ou

une saveur métallique. 0^{gr},05 de sulfate de chaux, d'alun, de chlorure de calcium, de nitrate de chaux, 0^{gr},05 de sulfate de fer, par litre d'eau, échappent absolument au goût. Au contraire, certaines eaux provenant de terrains tourbeux ont une saveur désagréable, bien que chimiquement très pures; de même, certaines eaux contenant des matières nuisibles peuvent avoir un goût agréable. On ne doit jamais oublier, d'ailleurs, que la température a une influence incontestable sur le goût, et il convient de renouveler, à 30°, l'essai fait d'abord à la température ordinaire. En somme, le goût, comme l'odorat, ne fournit que des indications vagues, insuffisantes, parfois même trompeuses. Une eau qui a une saveur prononcée doit être rejetée; mais un goût agréable, pas plus que l'absence d'odeur, ne saurait suffire pour la faire admettre.

105. Étude des circonstances locales. — L'incertitude que laisse l'examen des caractères physiques d'une eau, et que l'analyse chimique elle-même est parfois impuissante à lever, donne une importance réelle à l'étude des particularités locales, étude qui peut souvent fournir des renseignements fort utiles sur sa qualité réelle.

Il convient d'observer, notamment, d'où elle provient, quels terrains elle traverse, si elle est exposée sur son parcours à des causes d'altération, quelle peut être l'origine des impuretés qu'on y trouve ; de rechercher l'influence qu'elle peut avoir sur la santé des populations qui en font usage, et la probabilité plus ou moins grande du maintien indéfini de l'état actuel ou d'une contamination progressive par le fait du développement de la population, de la culture ou de l'industrie.

Toutes choses égales d'ailleurs, on devra toujours préférer les eaux provenant de terrains non habités, soit nus, soit recouverts d'une végétation sauvage, à celles qui seraient prises dans le voisinage de quelque centre populeux ou au milieu de terrains en culture ; et les eaux courantes, superficielles ou souterraines, aux eaux stagnantes de toute nature. On évitera celles qui seraient puisées dans le voisinage d'un cimetière, d'un marécage, de puisards et de fosses, de dépôts de fumier, du débouché d'un égout, etc., quand même l'analyse n'aurait donné que des résultats favorables.

Quelquefois l'étiologie d'une maladie peut fournir pour le choix d'une eau potable une indication impérieuse, et motiver l'exclusion absolue de telle ou telle source d'alimentation jugée auparavant excellente, mais dont l'expérience aura démontré le danger.

Enfin, il convient de tenir compte des préférences des populations, à moins qu'elles ne soient manifestement mal placées, auquel cas ce serait un devoir de les combattre. On irait au-devant d'un insuccès certain si l'on prétendait imposer dans une ville telle eau contre laquelle il y a une répugnance instinctive, un préjugé plus ou moins plausible parmi les habitants ; cette impression irraisonnée peut être, sans aucun doute, le résultat d'une erreur fâcheuse ; mais parfois aussi, et bien que les motifs

apparents soient sans valeur, elle peut avoir une cause sérieuse qu'un événement fortuit mettra quelque jour en évidence ; ne fût-elle d'ailleurs qu'un pur effet de l'imagination, il n'en serait pas moins prudent d'y avoir égard, car, nous l'avons déjà dit, il importe que l'eau potable ne puisse pas être soupçonnée. Ne serait-il pas déplorable de voir l'eau distribuée dans une ville par un réseau de conduites, après y avoir été amenée à grands frais, tenue en suspicion par ceux qui devraient en faire usage ? Que dire si les médecins pouvaient, avec quelque apparence de raison, soit en proscrire absolument l'emploi, soit en interdire l'usage sans préparation préalable, et recommander les eaux minérales pour la boisson courante ?

b. Analyse chimique.

106. Généralités. — L'*analyse complète* d'une eau naturelle est une opération longue et délicate, en raison du nombre considérable de substances chimiques différentes qui s'y trouvent ordinairement en dissolution et des très faibles proportions de ces diverses substances.

Elle comprend une série d'essais qui supposent un laboratoire bien monté, de nombreux réactifs, et ne fournit pas, en somme, de résultats en rapport avec la peine qu'elle cause, l'outillage qu'elle réclame, le temps qu'il faut y consacrer. En effet, il importe peu, en général, de savoir exactement quels corps l'eau considérée tient en dissolution, mais seulement si elle renferme des substances *nuisibles* ou réputées telles, et en quelles proportions ; et, dès lors, on peut se borner le plus souvent à rechercher ces substances, sans attacher trop d'importance au surplus.

Aussi, tandis que précédemment on se croyait obligé de faire l'analyse complète d'une eau destinée à l'alimentation, on y a de moins en moins recours maintenant, et l'on préfère des méthodes plus rapides, qui ont pour objet de déceler et de doser les quelques substances dont il est le plus intéressant de constater la présence et de connaître les quantités.

Malheureusement, il y a de très grandes divergences dans la façon de procéder, soit pour les essais mêmes, soit pour l'indication des résultats ; et les chiffres obtenus ne sont pas comparables entre eux dans la plupart des cas. Pour en donner une idée, il suffira de faire remarquer que les mots *matière organique* désignent tantôt un poids de matières de nature assez indéterminée en dissolution dans l'eau, tantôt le poids ou le volume de gaz oxygène nécessaire pour en opérer la combustion, tantôt le poids du réactif qui le fournit ; que les quantités des divers corps dont la présence est révélée par l'analyse sont données tantôt en *cent-millièmes*, tantôt en *millionièmes* ou en *milligrammes par litre*—ce qui revient au même lorsque la densité de l'eau s'écarte peu de l'unité — soit en *grains par gallon*, et que le gallon n'a pas la même valeur en Angleterre et aux États-Unis d'Amérique.

Il en résulte que l'analyse donne seulement des indications relatives,

dont il est difficile de tirer parti pour une étude générale, et que les comparaisons les plus instructives, les plus utiles, se trouvent souvent rendues impossibles. C'est en vain que l'on a émis, plus d'une fois, le vœu d'arriver à une entente générale entre les chimistes des divers pays, et d'adopter un type unique et universel d'analyse des eaux ; parmi les nombreux congrès scientifiques qui se succèdent fréquemment à notre époque, celui qui réalisera ce vœu pourra compter parmi les plus utiles.

107. Prise d'échantillon. — La prise de l'échantillon à soumettre à l'analyse doit être faite avec des précautions toutes spéciales, si l'on veut éviter les causes d'erreur.

La quantité d'eau nécessaire est de 2 litres au moins ; il faut 5 et même 10 litres, si l'on veut procéder à une analyse complète.

On recueille cette quantité d'eau dans un flacon en verre, incolore de préférence, et n'ayant jamais servi, ou du moins n'ayant point contenu d'autre liquide. Si le flacon est enveloppé d'osier, il est bon que le revêtement d'osier soit amovible, afin qu'on puisse, au besoin, voir le flacon et son contenu. Les meilleurs bouchons sont ceux de verre ou de liège neuf et parfaitement sain. Flacon et bouchon doivent toujours être soigneusement nettoyés et lavés au moyen de l'eau même dont on veut prendre un échantillon.

Lorsqu'il s'agit de l'eau d'un lac, il faut avoir grand soin de faire la prise un peu au-dessous de la surface, afin de ne pas entraîner de corps flottants, et assez loin du fond pour ne pas agiter la vase. En rivière, il est indispensable de se placer dans le courant. Pour une source, on doit rechercher le point où les filets liquides émergent du sol. Dans tous les cas, l'eau doit être puisée, autant que possible, telle que la donne normalement la source d'alimentation qu'on se propose d'examiner. Il ne faut donc prélever l'échantillon que lorsque le régime est bien établi ; et s'il se produit des variations dans ce régime, suivant les saisons ou suivant les points considérés, il y a lieu de faire plusieurs prises en des endroits ou à des époques différentes. Enfin, chaque flacon doit être soigneusement cacheté et étiqueté.

Il est indispensable de procéder aux essais le plus tôt possible, car l'eau se modifie souvent par le repos ou sous l'influence des changements de température, et il est bon d'indiquer toujours après combien de temps et à quelle température l'analyse d'un échantillon d'eau a été faite.

Les réactifs employés doivent être parfaitement purs et ne contenir surtout aucune trace des corps que l'analyse est chargée de rechercher dans les diverses eaux.

108. Matières en suspension. — Lorsqu'une eau est trouble, on ne saurait procéder utilement à l'analyse qu'après l'avoir débarrassée des *matières en suspension*. A cet effet, on peut opérer soit par *décantation*, après un repos prolongé, soit par *filtration* sur un filtre en papier. Ce

dernier mode est préférable, car il permet de déterminer la proportion des matières en suspension, qu'il est souvent intéressant de connaître. A cet effet, on fait passer une certaine quantité de l'eau à examiner sur un filtre en papier Joseph préalablement desséché à 100° et pesé ; on dessèche ensuite de nouveau, et on fait une seconde pesée : la différence est le poids des matières en suspension dans la quantité d'eau considérée.

109. Gaz dissous. — Il était autrefois d'usage de faire une analyse complète des *gaz dissous* dans l'eau. Mais on a reconnu que la composition de ces gaz est chose assez indifférente, et qu'elle se modifie, d'ailleurs, le plus souvent après la prise ; aussi renonce-t-on presque toujours aujourd'hui à ce genre d'analyse, et se borne-t-on à déterminer la quantité d'*oxygène libre* en dissolution dans l'eau. On sait, en effet, qu'une eau chargée de matières organiques en est peu à peu débarrassée par l'action comburante de l'oxygène dissous ; la plus ou moins grande quantité de ce gaz en dissolution dans l'eau est considérée, par suite, comme un indice de sa plus ou moins grande pureté. Mais il ne faut voir dans cette recherche qu'un moyen de comparaison, utile, par exemple, pour suivre la loi de la contamination progressive d'un cours d'eau, et ne pas lui demander d'indications absolues qui seraient sans valeur, puisque certaines eaux, dépourvues d'oxygène au moment où on les puise, sont néanmoins de bonne qualité, et inversement.

Parmi les diverses méthodes employées pour le dosage de l'oxygène libre en dissolution dans l'eau, le Comité consultatif d'hygiène de France a donné la préférence à celle présentée, en 1884, par M. Albert Lévy, chef du service chimique à l'Observatoire de Montsouris. Dans une certaine quantité d'eau, rendue alcaline par la potasse, M. Lévy verse un poids déterminé de sulfate de protoxyde de fer ammoniacal ; l'oxyde de fer se précipite, et une partie se transforme en sesquioxyde en présence de l'oxygène dissous dans l'eau : il reste à doser le sesquioxyde, ce qui se fait par différence en saturant la potasse et dissolvant les oxydes de fer par l'acide sulfurique, puis recherchant la quantité de protoxyde restant au moyen de l'addition d'une dissolution titrée de permanganate de potasse, opérée goutte à goutte avec une burette graduée.

110. Résidu solide total. — Au contraire, on détermine presque toujours le *résidu solide total*, que laisse l'évaporation d'un litre d'eau.

On opère sur une fraction de litre, sur 100 ou 250 centilitres le plus souvent, qu'on place dans une capsule de porcelaine ou de platine, et qu'on porte à l'étuve jusqu'à dessiccation.

Le résidu solide ainsi obtenu ne représente pas la totalité des corps dissous ; quelques-uns, en effet, s'échappent à l'état gazeux pendant l'évaporation ; d'autres se modifient sous l'influence de la chaleur ; d'autres enfin conservent, même après la dessiccation, une certaine quantité d'eau

d'hydratation. Le résultat varie, d'ailleurs, suivant la température à laquelle on opère ; certains chimistes pratiquent l'évaporation à 100°, d'autres à 120° ou 140°, quelques-uns même à 180°, bien qu'une température aussi élevée donne lieu à de nombreuses décompositions. Il n'y a pas de motif absolu de préférence en faveur de tel ou tel mode d'opérer ; mais il est évident que les résultats ne sont pas comparables s'ils n'ont pas été obtenus dans des conditions identiques.

Le résidu est presque toujours blanc, si l'eau est de bonne qualité, et ne contient guère que des sels de chaux et peu de matières organiques ; il est coloré en jaune ou jaune brun lorsqu'il s'y trouve du fer, des matières organiques, etc.

En portant au rouge la capsule de platine qui a servi à l'évaporation et contient le résidu, on obtient par différence la *perte au feu*, qui ne représente pas seulement le poids des matières organiques, comme on l'a parfois admis, mais en même temps les pertes résultant de la décomposition des nitrites et nitrates, de la réduction des sulfates, du départ du chlore, etc.

111. Détermination des quantités de certains corps en dissolution. — Les corps inorganiques dont on recherche le plus ordinairement la présence dans les échantillons d'eau soumis à l'analyse sont les sels de chaux et de magnésie, les chlorures, les nitrates, les sulfates, l'ammoniaque.

La *chaux* est précipitée par l'oxalate d'ammoniaque : on recueille sur un filtre l'oxalate de chaux, qu'on transforme en chaux vive par la calcination, et l'on pèse immédiatement.

La *magnésie* se dose à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, obtenu en versant dans l'eau du phosphate de soude en présence d'un excès d'ammoniaque.

Pour la détermination du *chlore*, on emploie le nitrate d'argent, et l'on opère tantôt en précipitant le chlore sous forme de chlorure d'argent insoluble qui est desséché et pesé, tantôt au moyen d'une liqueur titrée de nitrate d'argent qui est versée goutte à goutte dans l'eau, préalablement colorée en jaune par le chromate neutre de potasse, jusqu'à ce qu'apparaisse la coloration rouge du chromate d'argent.

Diverses méthodes peuvent être employées pour le dosage des *nitrates*. Voici celle de M. Albert Lévy : l'eau est additionnée d'acide chlorhydrique qui provoque la décomposition de l'acide azotique et de sulfate de protoxyde de fer qui se transforme partiellement en sel de sesquioxyde en présence de l'oxygène dégagé ; on détermine par différence, au moyen de permanganate de potasse, la quantité du sesquioxyde ainsi formé et l'on en déduit le poids d'*azote nitrique* correspondant. L'opération ainsi conduite ne donne un résultat exact que si l'eau a été préalablement débarrassée des matières organiques et que l'on opère dans un milieu privé d'air.

L'*azote ammoniacal* est obtenu par le même chimiste en distillant une certaine quantité d'eau rendue alcaline par addition de magnésie, et recueillant les produits de la distillation dans une quantité connue d'acide sulfurique coloré en jaune par quelques gouttes de teinture de cochenille. On verse ensuite goutte à goutte une liqueur ammoniacale titrée jusqu'à l'apparition d'une coloration rouge violet caractéristique, et l'on trouve ainsi par différence la quantité d'acide sulfurique neutralisée par l'ammoniaque contenue dans l'eau, d'où l'on déduit le poids d'azote correspondant.

Les *sulfates* sont précipités par le chlorure de baryum et l'acide sulfurique est dosé à l'état de sulfate de baryte.

Quelquefois, mais plus rarement, il y a lieu de constater la présence du *zinc*, du *cuivre*, du *plomb*, etc.; nous ne donnerons pas ici l'indication des procédés employés pour ces recherches exceptionnelles, et nous renvoyons d'ailleurs aux ouvrages spéciaux pour ce qui concerne les appareils et le détail des opérations, nous contentant d'avoir indiqué le principe des méthodes considérées comme les plus sûres et les plus pratiques.

112. Matières organiques. — Il est souvent utile de connaître les quantités de matières organiques contenues dans une eau donnée et l'on a proposé, depuis quelques années, divers procédés à cet effet.

Aucun opérateur ne se contente désormais de rechercher la *perte au feu*; comme nous l'avons indiqué plus haut, on n'obtient par ce moyen que des résultats inexacts et d'ailleurs variables suivant la température de la calcination et le mode d'opérer.

Parmi les méthodes récentes, il convient de citer le *procédé par l'ammoniaque* très usité en Angleterre, mais par lequel on dose seulement les matières azotées : il consiste à chasser d'abord l'ammoniaque contenue dans l'eau par la distillation, après quoi on additionne la liqueur de soude caustique et de permanganate de potasse et l'on reprend la distillation; il se reforme de l'ammoniaque, que l'on dose sous la rubrique *ammoniaque albuminoïde*.

La méthode du Dr Frankland, dite *par combustion*, a été appliquée par la Commission anglaise de la pollution des rivières dans le très grand nombre d'analyses qu'elle a faites. Elle comporte une série d'opérations longues et délicates qui supposent un laboratoire bien organisé et un opérateur habile. Une certaine quantité d'eau est évaporée et le résidu soumis à une analyse spéciale qui a pour objet d'isoler l'azote pour le doser à l'état gazeux et de convertir le carbone en acide carbonique dosé séparément. Les résultats sont donnés sous la désignation de *carbone organique* et *azote organique*; on ajoute parfois les deux chiffres correspondants pour obtenir la somme des *éléments organiques*.

Un autre procédé, d'une application plus facile, et auquel M. Albert

Lévy a donné beaucoup de précision, consiste à doser la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion des matières organiques. A cet effet, on porte à l'ébullition 100 centimètres cubes d'eau additionnée de quantités connues de carbonate de soude et de permanganate de potasse en excès; on rend la liqueur acide, et on y verse du sulfate de fer ammoniacal qui la décolore : puis on ajoute goutte à goutte une liqueur titrée de permanganate de potasse jusqu'à réapparition de la coloration rose. On opère de même sur une autre prise de 200 centimètres cubes. La différence des lectures faites sur la burette graduée dans les deux cas donne la quantité de permanganate nécessaire à la combustion des matières organiques contenues dans 100 centimètres cubes d'eau, et l'on en déduit immédiatement le poids d'oxygène correspondant. C'est ce poids d'oxygène qui est donné comme résultat de l'analyse sous la mention : *matière organique*.

113. Résultats des analyses et conclusions. — Quelque complète qu'elle soit, et avec quelque soin et quelque habileté qu'elle soit faite, l'analyse chimique seule est, dans la majorité des cas, impuissante à fournir une appréciation certaine de la valeur d'une eau. Sans doute elle permet d'écarter immédiatement une eau trop dure, contenant du plomb ou de l'arsenic, très chargée d'impuretés de diverse nature, etc.; mais ce sont là des exceptions, et presque toujours elle laisse une incertitude telle qu'à défaut d'indications complémentaires, il n'est pas permis d'en tirer de conclusion formelle. Dès 1851, l'*Annuaire des Eaux*, rédigé sous l'inspiration de Dumas, déclarait que l'analyse chimique d'une eau ne suffit pas pour la juger. Depuis lors, on s'est de plus en plus convaincu de cette vérité, en constatant que l'on trouvait parfois les mêmes quantités d'ammoniaque, de chlore, de matières organiques, dans une eau de bonne qualité employée de tout temps sans inconvénient, et dans une autre eau manifestement mauvaise.

Néanmoins, l'analyse chimique reste le principal et le meilleur guide dans les recherches à faire sur la qualité d'une eau ; elle fournit des indications nombreuses et précises, d'une utilité incontestable, et que rien ne saurait remplacer. La connaissance des quantités de matières solides dissoutes, des proportions de chaux et de magnésie, la constatation de la présence de l'acide sulfurique, des sels de fer, etc., sont indispensables pour toute eau destinée à un emploi industriel. Une trop grande quantité de matières organiques, révélée par l'analyse, suffit à faire condamner une eau destinée à la boisson. Une quantité un peu notable de chlore, d'azote nitrique ou ammoniacal est l'indice d'une contamination antérieure de l'eau par des déjections animales.

Sans doute, il ne faut pas donner aux résultats de l'analyse une importance exagérée, qui conduirait assez souvent à des conclusions erronées : le chlore peut provenir de résidus industriels ou même du sel marin entraîné fort loin dans l'intérieur des terres par les vents qui

viennent de l'océan, tout aussi bien que des déjections animales ; les matières organiques se trouvent dans les eaux des contrées vierges en aussi forte proportion parfois que dans celles des régions les plus peuplées, et, comme l'analyse chimique en fait connaître seulement la quantité totale sans en distinguer la nature, elle ne marque pas la différence entre les deux cas. Ses indications ne doivent donc pas être considérées comme absolues ; elles ont besoin d'être vérifiées, contrôlées, rectifiées par d'autres moyens d'investigation, d'autres procédés d'examen ; il faut les discuter avec soin, mais elles fournissent, à cette condition, de précieux renseignements sur la valeur relative des diverses eaux. L'analyse chimique constitue surtout un puissant instrument de comparaison.

c. — *Méthodes rapides.*

114. Hydrotimétrie. — La complication et la longueur de l'analyse chimique, le soin et l'habileté qu'elle réclame, l'incertitude qu'elle laisse, devaient nécessairement faire rechercher des méthodes plus rapides et d'une application plus facile, au moins pour la détermination des quantités de certains corps que l'on rencontre le plus généralement dans l'eau, ou pour la comparaison sommaire d'eaux de nature analogue où il est intéressant de connaître les proportions diverses d'un même élément.

L'*hydrotimétrie* est une de ces méthodes et la plus répandue. Elle a pour objet de déterminer la *dureté* ou la *crudité* d'une eau, ou, en d'autres termes, la quantité de sels terreux ou magnésiens qu'elle contient. Elle est basée sur cette observation du Dr Clarke que, si l'on verse goutte à goutte dans l'eau une dissolution alcoolique de savon, il se forme d'abord des grumeaux insolubles par la combinaison des acides gras du savon avec la chaux et la magnésie, puis, le précipité formé, l'addition d'une seule goutte donne à l'eau une onctuosité telle que l'agitation y produit immédiatement une *mousse* légère et persistante. MM. Boutron et Bondet ont imaginé et appliqué, dès 1856, le procédé pratique généralement employé aujourd'hui : la liqueur titrée est composée de manière qu'une division de la burette graduée au moyen de laquelle on la verse corresponde à la saturation de $0^{mg},4$ de carbonate de chaux ; et l'on opère sur 40 centimètres cubes d'eau, de sorte que chaque division représente 10 milligrammes par litre, soit 1 cent-millième de carbonate de chaux ou une quantité équivalente de sels terreux. L'eau est placée dans un petit flacon à goulot étroit, où l'on verse la liqueur titrée goutte à goutte, au moyen de la burette, et qu'on agite fréquem-

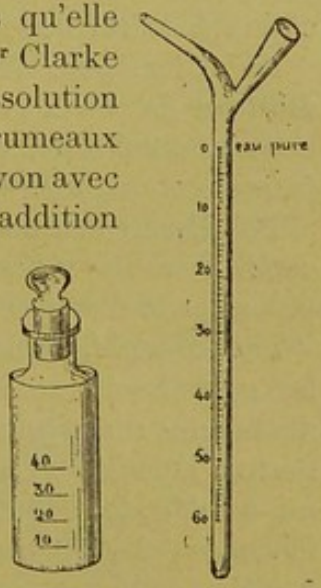


Fig. 7.

ment ; lorsque la mousse apparaît et persiste pendant deux minutes au moins, on lit le nombre de divisions de la burette et l'on a le *degré hydrotimétrique*.

Dans certains cas, il y a quelques précautions à prendre pour écarter toute chance d'erreur. Ainsi, lorsque l'eau est très chargée de sels terreux, les grumeaux se produisent en si grande abondance qu'ils empêchent la production de la mousse ; on opère alors sur 20 ou sur 10 centimètres cubes de l'eau soumise à l'essai qu'on additionne de 20 ou 30 centimètres cubes d'eau distillée; le degré trouvé doit être alors multiplié par 2 ou par 4. Quand l'eau contient des sulfates et surtout du sulfate de magnésie, il se produit, après la précipitation des carbonates une première mousse, dite *fausse mousse,* qui ne persiste pas, et qu'il ne faut pas confondre avec la mousse caractéristique qui se forme plus tard, si l'on continue l'opération.

Les eaux potables marquent d'ordinaire de 3° à 25° à l'hydrotimètre; l'eau de pluie, 0° à 10°.

Si, après avoir pris le degré hydrotimétrique d'une eau de la manière que nous venons d'indiquer, on fait cette opération sur la même eau préalablement bouillie, on trouve un résultat différent, parce que l'ébullition a déterminé la précipitation des carbonates; ce résultat correspond aux sulfates terreux. C'est ce qu'on appelle en Angleterre *permanent hardness,* le degré de crudité persistant, par opposition au degré de crudité temporaire, *temporary hardness,* donné par la différence des deux lectures, ou au degré hydrotimétrique obtenu par l'application de la méthode ordinaire à l'eau non bouillie, *total hardness.*

En Allemagne, chaque degré hydrotimétrique correspond à 1 centmillième de chaux et non de carbonate de chaux, de sorte que les indications allemandes ne sont pas comparables à celles des chimistes français et anglais.

115. Essais sommaires. — Certains essais sommaires, d'une application courante et facile, permettent aussi d'obtenir des renseignements utiles sur la composition d'une eau.

Par exemple, lorsqu'on la chauffe dans un ballon de verre, on voit les gaz dissous se dégager en *bulles* dont la plus ou moins grande abondance renseigne jusqu'à un certain point sur son aération; si on la porte à l'ébullition, les carbonates terreux se précipitent et déterminent un *trouble* dont l'intensité permet d'en apprécier la quantité; si on l'évapore, elle prend finalement une odeur de vase d'autant plus prononcée qu'elle contient plus de matières organiques.

Le *sucre* a été indiqué comme réactif pour déceler la présence de matières organiques provenant des égouts ou plus exactement de déjections animales: dans un flacon en verre incolore, on verse un demi-litre d'eau, on ajoute quelques grammes de sucre, on agite, et on laisse le flacon à la lumière pendant dix jours dans un endroit chaud. Si l'eau

devient trouble, il y a probabilité de contamination; si elle reste claire, de pureté relative.

On a proposé aussi l'emploi d'un aréomètre très sensible, gradué de manière qu'un degré corresponde à une teneur d'un dix-millième de chlorure de sodium par litre, et au moyen duquel on détermine le poids spécifique de l'eau soumise à l'essai; on écarterait toute eau marquant plus de 6° à l'*hydromètre*.

Bien entendu, ces essais sommaires n'ont qu'une valeur médiocre; et il ne faut leur demander que ce qu'ils peuvent donner, c'est-à-dire de simples présomptions.

d. *Examen micrographique.*

116. Utilité de ce nouveau mode d'examen. — Les travaux récents sur les êtres infiniment petits, que l'on rencontre partout dans la nature et en particulier dans les eaux, ont donné lieu à l'apparition d'une science nouvelle, la *micrographie*, dont les progrès ont été très rapides et qui peut, dès à présent, venir grandement en aide à la chimie pour concourir à la détermination de la qualité d'une eau donnée.

Comme la chimie, elle ne fournira, dans la plupart des cas, que des indications relatives; car beaucoup de ces micro-organismes sont inoffensifs, et leur présence en plus ou moins grande quantité n'a pas nécessairement une influence sur la santé. Néanmoins, et en attendant que l'on sache isoler et reconnaître à coup sûr les microbes *pathogènes*, l'abondance des *colonies* est considérée comme une circonstance fâcheuse. Le nombre total des microbes par centimètre cube d'eau, les proportions des microbes des diverses catégories sont devenus d'utiles éléments de comparaison, qui permettent parfois de deviner la provenance d'une eau, d'en expliquer certaines propriétés, et servent à étudier les progrès ou les variations de la contamination.

Bien que cette science nouvelle en soit encore à ses débuts, on n'est plus en droit de n'en pas tenir compte, et de négliger les renseignements qu'elle fournit, lorsqu'il s'agit de juger de la qualité d'une eau.

Aucune eau naturelle ne paraît exempte de micro-organismes; dans

Fig. 8. — Gouttes d'eau vues au microscope.

les eaux très pures, contenant seulement des traces ou des quantités extrêmement faibles de matières organiques, on trouve surtout des *algues*,

des *diatomées* et quelques animalcules en petit nombre ; dans les eaux moins pures, les microbes sont plus nombreux et d'espèces plus variées, *micrococcus, bacilles, vibrions;* enfin, ils pullulent dans les eaux très chargées de matières organiques.

117. Indication sommaire des méthodes employées. — Pour l'examen micrographique, on opère sur des échantillons recueillis dans des ampoules de verre préparées d'avance et stérilisées, que l'on a flambées, où l'on a fait le vide et dont le col a été fermé à la lampe. Au moment de la prise, on introduit l'ampoule dans l'eau, on en brise sous l'eau le col effilé au moyen d'une pince flambée à l'instant même, et on le referme immédiatement à la lampe pour le briser de nouveau lors de l'essai. Il y a d'ailleurs intérêt à procéder à l'essai dans le plus bref délai, car les changements sont rapides ; et, comme le moindre écart de température a une influence considérable, il importe d'opérer toujours au même degré de chaleur.

M. le Dr Miquel, qui a inauguré l'étude micrographique des eaux à l'Observatoire de Montsouris, distribue le liquide à analyser, par gouttes ou fractions de goutte, dans 50 ou 100 conserves de bouillon de bœuf et observe le nombre de ballons où le liquide de culture est infecté et se trouble. Si l'eau est très chargée, il la dilue au dixième, au centième, au millième, dans un véhicule liquide stérilisé, et opère ensuite par le même procédé.

Un autre mode d'essai, indiqué par le Dr Koch, de Berlin, consiste à mélanger l'eau soumise à l'analyse à une petite quantité de gélatine nutritive, liquéfiable à une douce chaleur; on jette le mélange à l'état liquide sur une plaque de verre quadrillé préalablement stérilisée, la masse se coagule et les bactéries emprisonnées se multiplient en formant des *colonies* sur les points mêmes où elles se sont trouvées retenues par la gélatine solidifiée.

M. Miquel a imaginé un procédé plus rapide encore, qui consiste à plonger une ou deux minutes dans l'eau à essayer un papier enduit sur ses deux faces de gelée nutritive et à le plonger ensuite dans une éprouvette stérilisée : l'augmentation de poids du papier donne la quantité d'eau absorbée, et l'on fait apparaître les colonies en les teintant en bleu par une réaction spéciale, ce qui permet de les compter avec la plus grande facilité.

Nous avons vu qu'un faisceau lumineux fait miroiter les particules en suspension dans l'eau : de là une méthode optique d'observation des micro-organismes. Le microscope permet d'ailleurs de les étudier directement, d'en déterminer et dessiner les formes; on obtient même aisément, avec la photographie, la reproduction fidèle des images fournies par le microscope.

Enfin, pour la recherche des microbes ou des germes nuisibles à la santé, le Dr Emmerich a proposé, en 1878,de faire à un lapin une injec-

ion sous-cutanée de l'eau à analyser. S'il ne se produit pas une élévation de température de plus d'un degré centigrade, suivie de mort au bout d'un temps plus ou moins long, il en conclut que l'eau ne contient pas de substances dangereuses ou qu'elles sont en trop petite quantité pour qu'il y ait à en tenir compte.

118. Résultats. — Ces méthodes ne sont pas encore entrées dans la pratique ordinaire et courante, et il faut laisser aux spécialistes le soin de discuter les résultats qu'elles peuvent fournir et les conclusions qu'il convient d'en tirer.

Mais on peut juger de la sensibilité du mode de comparaison basé sur leur emploi à la seule inspection des chiffres suivants donnés par M. Miquel, après un certain nombre d'expériences sur les eaux à Paris :

Eau de pluie.....	7 microbes	par	cent. cube
Eau de la Vanne (sources)..	62	—	—
Eau de la Seine à Bercy	1.400	—	—
— — à Asnières .	3.200	—	—
Eau d'égout.....	20.000	—	—

Les eaux souterraines ont, en général, au point de vue micrographique, une supériorité marquée sur les eaux de superficie ; les terres à travers lesquelles elles se sont infiltrées ont en effet la propriété de les débarrasser des microbes. Aussi, l'eau d'égout, chargée de 20.000 microbes par centimètre cube, employée en irrigation à Gennevilliers, n'en contient plus que 20 lorsqu'elle est recueillie par les drains après avoir traversé quelques mètres d'épaisseur de terre.

Tableau :

c. *Résultats de l'examen qualitatif de diverses eaux.*

119. Analyses chimiques. — EN FRANCE :

1° Analyses anciennes.

LOCALITÉS	DATES	AUTORITÉS	AIR ATMOSPHÉRIQUE	ACIDE CARBONIQUE libre	BICARBONATES CHAUX par litre	BICARBONATES MAGNÉSIE par litre	BICARBONATES SOUDE par litre	SULFATES CHAUX par litre	SULFATES MAGNÉSIE et soude par litre	CHLORURES par litre	SELS de POTASSE par litre	AZOTATE ALCALIN par litre	SILICE ALUMINE et oxyde de fer par litre	MATIÈRES ORGANIQUES par litre	RÉSIDU SOLIDE total par litre
			litres.	litres.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Seine à Paris (pont d'Ivry)	»	Boutron et Henry.	0,003	0,013	0,132	0,060	»	0,020	0,040	0,010	traces	indices	0,008	traces	0,270
Ourcq (canal de l')		*Idem.*	»	»	0,158	0,075	»	0,080	0,095	0,113	»	traces	0,069	indices	0,590
gare circulaire de la Villette	1845														
Loire, à Meung	1846	Sainte-Claire Deville.	0,0202	0,0018	0,0048	0,0061	»	0,0034	0,0034	0,0048	0,0044	»	0,033	»	0,1346
Garonne à Toulouse	1846	*Idem.*	0,0236	0,017	0,0645	0,0034	0,0095	»	0,0053	0,0032	0,0076	»	0,043	»	0,1367
Rhône, à Lyon	1839	Dupasquier.	0,018	0,0182	0,1867	»	»	0,0195	0,0060	0,0067	»	»	»	»	0,1898
Eau d'Arcueil	1845	Boutron et Henry.	0,004	0,070	0,158	0,060	»	0,138	0,072	0,081	indices	indices sensibles	0,018	traces à peine sensibles	0,527
Puits à Paris	1846	Maumené.	0,023	0,018	0,2414	»	»	0,8461	0,2438	0,3013	0,3274	0,4283	0,0476	0,0716	2,5075
—	1849	Poggiale.	0,019	0,017	0,090	»	»	0,460	0,100	0,460	»	traces	0,060	traces	1,170
Puits artésien de Passy	1862	Poggiale et Lambert.	»	0,007	0,064	0,024	»	»	0,015	0,009	0,012	»	0,012	0,005	0,141

LOCALITÉS	DATES	AUTORITÉS	ARGILE et SILICE par litre	ALUMINE et PEROXYDE de fer par litre	CHAUX par litre	MAGNÉSIE par litre	ALCALI par litre	CHLORE par litre	ACIDE SULFURIQUE par litre	ACIDE CARBONIQUE et matières non dosées par litre	EAU COMBINÉE et matières organiques par litre	RÉSIDU SOLIDE total par litre
			gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Dhuis (sources de la)	1856 (?)	Mangon.	0,010	faibles traces	0,128	0,010	0,009	0,003	0,005	0,113	0,017	0,295
Vanne	1861 (?)	Mangon.	0,009	0,001	0,099	0,007	0,007	0,002	0,007	0,073	0,008	0,213
Armentières			0,008	0,001	0,087	0,003	0,006	0,002	0,008	0,070	0,007	0,192
Saint-Philibert	1861 (?)											

2° Analyses récentes : Laboratoire de l'École des ponts et chaussées (1883-1886)

	LOCALITÉS	RÉSIDU DE FILTRATION	DEGRÉ HYDROTIMÉTRIQUE	RÉSIDU TOTAL D'ÉVAPORATION par litre	MATIÈRES COMBUSTIBLES par litre	CENDRES par litre	ACIDE SULFURIQUE par litre	CHLORE par litre	SILICE par litre	ALUMINE ET PEROXYDE DE FER par litre	CHAUX par litre	MAGNÉSIE par litre	ALCALI par litre	ACIDE NITRIQUE par litre	PRODUITS NON DOSÉS ET PERTE par litre
		mg.		mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.
	Seine à Mantes.....	»	22	330	36	»	28	12	10	1	125	13	16	21	68
	— à Marly.....	18	19	260	17	»	8	4	13	1	110	6	7	»	94
	Rhône (embouchure de la Cèze).....	»	17,5	210	5	205	37	3	5	2	84	11	5	»	»
	Drôme.....	»	13,5	189	4	179	14	2	7	1	76	10	5	»	»
	Doubs.....	»	19,5	189	6	177	traces	1	1	traces	88	5	5	»	»
	Ardèche (à Vallon) .	»	8,8	139	14	125	8	3	5	1	50	7	6	»	»
	Charente (à Chalonne).....	»	16	260	»	»	7	11	6	2	94	7	»	2	131
	Forage à Marly.....	»	49,5	804	24	»	180	28	18	traces	223	61	37	»	233
	Source près Vézelay..... ...	»	22	269	5	264	3	3	7	1	135	3	3	12	97
	Source du Sorpt, près Brive.....	»	23	289	4	»	2	3	5	1	129	16	7	7	115
Eaux d'alimentation	de Mantes.....	»	23	305	35	»	12	9	9	traces	123	12	10	40	55
	de Mont-de-Marsan.....	»	12,5	202	6	»	3	12	14	1	83	4	»	»	79
	d'Angoulême....	»	15,5	245	»	»	8	9	9	1	97	8	»	1	112
	de Villers-Cotterets.....	»	2	63	8	55	15	13	14	1	8	3	11	»	»
	de Saint-Malo...	»	5,5	216	28	188	21	»	22	4	28	14	»	»	»
	de Dax.....	»	0,5	49	1	48	1	14	7	traces	2	3	14	»	»
	de Ste-Adresse..	»	26	468	16	452	16	58	30	traces	158	8	»	»	»
	de Carcassonne. (Station.).....	»	8	223	14	209	6	82	23	1	15	13	66	10	»

EAUX DE PARIS (M. Albert Lévy — Octobre 1886).

LOCALITÉS	DEGRÉ HYDROTIMÉTRIQUE		CHAUX par litre	CHLORE par litre	MATIÈRE ORGANIQUE [1] par litre	AZOTE			OXYGÈNE DISSOUS	
	total	persistant				ammoniacal par litre	albuminoïde par litre	nitrique par litre	au moment de la prise par litre	après 48 h. [2] par litre
Sources :			mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.
Vanne, au réservoir de Montrouge....	20,2	3,4	112	5	1,7	0,0	0,2	0,9	10,1	9,5
Dhuis, au réservoir de Ménilmontant.	21,2	3,9	98	7	0,9	0,0	0,3	3,3	10,5	8,4
Canal :										
Ourcq, à la gare circulaire de la Villette.....	34,6	10,8	138	10	3,1	0,0	0,3	1,2	8,6	5,9
Rivières :										
Seine à Ivry.....	19,1	2,1	104	8	2,8	0,0	0,2	1,9	9,5	9,2
— à Austerlitz..	19,2	3,4	106	8	2,2	0,0	0,3	2,4	9,3	7,8
Marne à Saint-Maur.	25,3	6,2	123	7	1,7	0,0	0,2	1,8	8,8	7,7

1. Représentée par le poids d'oxygène emprunté au permanganate de potasse.
2. Eau conservée à la température de 33° à l'abri de l'air et de la lumière.

EN ANGLETERRE :

LOCALITÉS	AUTORITÉS	RÉSIDU SOLIDE TOTAL	CARBONE ORGANIQUE	AZOTE ORGANIQUE	AMMONIAQUE	AZOTE NITRIQUE	AZOTE TOTAL	CHLORE	HARDNESS (TITRE HYDROTIMÉTRIQUE)
Rivières :		c.-mill.	c.-mill.	c.-mill.	c.-mill.	c.-mill.	c.-mill.	c.-mill.	degrés
Tamise à Londres :									
Cie Chelsea		27,12	0,156	0,030	0	0,193	0,223	1,5	19,1
— W. Middlesex		27,76	0,184	0,033	0	0,206	0,238	1,5	19,7
— Southwark		28,22	0,184	0,029	0	0,206	0,235	1,5	20,1
— Grand Junction	Frankland	28,07	0,164	0,034	0	0,199	0,233	1,5	19,9
— Lambeth		29,39	0,184	0,030	0	0,232	0,262	1,6	20,6
Lea à Londres :									
Cie New River		28,48	0,106	0,021	0	0,265	0,286	1,6	20,4
— East London		30,12	0,148	0,025	0	0,240	0,265	1,7	20,8
Sources :									
Glocester		44,52	0,040	0,010	0	0,026	0,036	1,60	31,9
Northampton		31,36	0,009	0,003	0	0,790	0,793	1,76	23,3
Taddington		31,20	0,047	0,014	0	0	0,014	1,10	30
Scarborough		30,38	0,030	0,007	0	0,074	0,081	3,30	21,8
Puits :	Rivers pollution commission								
Bedford		140,74	0,325	0,088	0	2,497	2,585	15,29	54,5
Farringdon		101,50	0,200	0,066	0,001	3,510	3,577	11,05	67,1
Forages :									
Scarborough		39,78	0,041	0,008	0,010	0	0,009	3,70	19,7
Bourne		42,76	0,217	0,042	0	0	0,047	2,10	35,2

EN ALLEMAGNE :

LOCALITÉS	AUTORITÉS	DATES	RÉSIDU SOLIDE par litre	MATIÈRES ORGANIQUES par litre	CHLORE par litre	ACIDE NITRIQUE par litre	AMMONIAQUE par litre	ACIDE SULFURIQUE par litre	CHAUX par litre	MAGNÉSIE par litre	HARTE (DURETÉ) par litre
Rivières :			mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	degrés
Elbe à Magdebourg.	Reichhardt.	Nov. 1870	260	34,5	38,3	1,4	0	48	56	16	7,8
Oder à Breslau	Poleck.	—	135	77	7	1,2	0,06	14	29	8	4
Rhin à Cologne	Vohl.	Oct. 1870	250	52	2,5	traces	0	19,6	74,9	20,5	»
Saale à Iéna	Reichhardt.	Juill. 1872	245	40,1	6,2	1,1	0	63,5	89,6	19,1	11,7
Isar, amont de Munich	Emmerich.	Fév. 1875	219,5	19,4	1,4	0,5	0	0	80,9	0	»
Danube à Deggendorf	—	—	247	40,3	21,5	2,3	0	0	84,9	0	»
Sources :											
Erfurt	Reichhardt.	—	355	5	16	0	0	65	78	13	10
Klagenfurt	Mitteregger.	—	226	0	0	0	0	96	76	33	12
Ratisbonne	Braunschweiger.	—	240	0	traces	traces	0	traces	125	traces	13
Ulm	Wacker.	—	237	4	traces	traces	0	1	125	0	13
Wiesbaden	Fresenius.	—	42	3	4	1	0	1	7	5	1
Wurzbourg	Ossan.	—	742	3	44	3	0,06	184	241	40	30
Nappes souterraines :											
Bamberg	Kerner.	—	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Bonn	Wachendorf.	—	538	4	76	0	0	42	134	29	18
Dresde	Schurmann.	—	124	1	10	3	0	12	31	0	3
Essen	Hartenstein.	—	181	27	42	traces	0	24	0	0	5
Carlsruhe	Birnbaum.	—	538	33	46	18	0	32	0	0	19
Hanovre	Fischer.	—	440	18	43	2	0	65	146	13	16
Berlin (Westend)	Ziureck.	—	?	60	12	0	0	7	169	4	17

AUX ÉTATS-UNIS :

LOCALITÉS	DATES	AUTORITÉS	RÉSIDU SOLIDE total par litre	AMMONIAQUE par litre	AMMONIAQUE ALBUMINOÏDE par litre	CHLORE par litre
			milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Boston (lac Mystic).....	1880	Nichols.	98	0,190	0,150	20
Rivière Merrimac (Lowell).....	—	—	»	0,052	0,123	1,5
Philadelphie (rivière Schuylkill).	1875	Cresson.	120	0,150	0,370	8
Cincinnati (rivière Ohio).....	—	Stuntz.	142	0,110	0,480	8
Puits à New-York.....	—	Waller.	374	0,020	0,050	93
— à Williamstown.....	—	Nichols.	1.121	0,050	0,130	400
Forage à Jersey City.....	—	Cook.	1.177	»	»	»
Puits artésiens à Saint-Louis...	—	Litton.	8.791	»	»	»
— à Charleston....	—	Robertson.	3.697	»	»	»

120. Degrés hydrotimétriques. — D'après Belgrand.

1° Rivières :

	Chatillon	Bar	Troyes	Port à l'Anglais	Paris	Conflans	Pont-de-l'Arche	Rouen
Seine	21°,52	18°,60	18°,60	16°,78	17°,08 à 18°,95	19°,80	19°,05	19°,02

	Chaumont	Saint-Dizier	Épernay	Château-Thierry	La Ferté-sous-Jouarre	Charenton
Marne	17°,64	16°,25	16°,92	17°,28	18°	21°,06

	Morvan	Confluent de la Cure	Auxerre	Sens
Yonne	1°,80	16°	13°,34	15°

	Montigny	Arcis
Aube	20°,73	17°,80

	Hirson	Travecy	La Fère	Pontoise
Oise	4°	19°,13	14°,89	22°,05

2° Sources :

Des calcaires de Beauce et des sables de Fontainebleau recouverts par ces calcaires.....	17°	à 25°
Des sables de Fontainebleau non recouverts par les calcaires.....	17°	à 22°
Des marnes vertes et des marnes du gypse (Rungis-Arcueil, 38°; Meudon, 68°; Ville-d'Avray, 50°; Marly, 48°; Prés-Saint-Gervais, 76°: Belleville, 155°; Lagny, 35°)..	24°	à 155°
Des marnes vertes (Dhuis, 23°; Sourdun, 20°; Ourcq, 33°; Montmort, 23°).....	20°	à 33°
De l'étage entre les marnes vertes et l'argile plastique (Sèvres, 36°; Senlis, 42°; Chailly, 25°; Voulzie, 24°; Durtein, 24°).....	21°,5	à 46°
De l'argile plastique (Meudon, 52°; Poissy, 31°; Vernon, 20°; Soissons, 25°)	20°	à 80°
De la craie blanche couronnée par les terrains tertiaires (Vanne, 17 à 20°; Villemer, 21°,50; Avre, 17°; Cailly, 21°).	17°	à 27°,5

De la craie blanche de Champagne (Somme-Soude, 14°; Orvin, 12°) ..... 12° à 17°,8
De la craie marneuse ..... 14°,5 à 22°
Du terrain crétacé inférieur (puits de Grenelle, 9 à 12°, et de Passy, 9°,7) ..... 7° à 12°
Du terrain néocomien (Soulaines, 24°,1) ..... 22° à 24°
Des calcaires oolithiques non marneux (Châtel-Censoir, 26° Mores, 23°; Douix, 23°,5; Courcelles, 21°,5) ..... 17°,5 à 26°;
Des calcaires oolithiques marneux (Fosse d'Yonne, 26°; Vermanton, 34°; Riel, 25°) ..... 21°,5 à 34°
Du calcaire à entroques (Avallon, 16° et 19°,5) ..... 16° à 20°
Du lias ..... 11° à 120°
Du granite (Avallon, 2°) ..... 2° à 7°

121. Analyses micrographiques.

EAUX DE PARIS (M. Miquel — Octobre 1886).

LOCALITÉS	BACTÉRIES par centimètre cube [1]	PROPORTION SUR 100 DES ESPÈCES RECUEILLIES				MOISISSURES TORULES ou conidies [1]
		Micrococcus	Bacilles	Bactériums	Vibrions	
Sources :						
Vanne, au réservoir de Montrouge	31	61	7	32	»	»
Dhuis, au réservoir de Ménilmontant	78	55	18	27	»	15
Rivières :						
Marne, à l'usine Saint-Maur	1.950	53	10	37	»	»
Seine, — d'Ivry	2.330	57	20	23	»	330
— — d'Austerlitz	4.850	61	13	21	»	640
— — de Chaillot	36.750	68	12	20	»	1.600
Canal :						
Ourcq, à la gare circulaire de la Villette	1.900	79	12	9	»	1.420

1. Microphytes nés dans le bouillon de bœuf neutralisé, après une durée d'incubation de 15 jours l'étuve chauffée entre 30 et 35 degrés.

EAUX DE LONDRES (Frankland).

LOCALITÉS	MICROBES PAR CENTIMÈTRE CUBE	
	Janvier 1886	Juin 1886
Tamise à Hampton (non filtrée)	45.400	8.300
— Compagnie de Chelsea	159	60
— — West-Middlesex	180	145
— — Southwark	2.270	94
— — Grand Junction	4.894	17
— — Lambeth	2.587	129
Lea à la prise de la Compagnie East-London (non filtrée)	39.200	4.700
— Compagnie East-London	224	445
— — New River	363	53

DIVERS

Eaux de Wiesbaden (sources).	15 à	115	colonies	(Hueppe).
— Munich (sources)....	7 à	180	—	(Buchner).
Lac de Genève.....	38		—	(Fol et Dunant).
— Zurich.....	57 à	548	—	(Cramer).
— Tegel (près de Berlin).	20 à	1.384	—	(Wolffhügel).
Puits à Munich.....	44 à	10.000	—	(Buchner).
— Berlin.....	0 à	11.960	—	(Wolffhügel).
Sprée.....	59 à	5.115	—	(Wolffhügel).
Sprée.....	125.000 à	10.180.000	—	(Koch).
Sprée (après filtration).....	5 à	903	—	(Wolffhügel).
Rhin à Mühleim.....	17.300 à	23.000	—	(Mörs).

§ 4.

DU CHOIX A FAIRE ENTRE DIVERSES EAUX

POUR L'ALIMENTATION D'UNE VILLE

122. Comparaison générale des eaux de diverse nature. — Lorsqu'on veut établir *a priori* un classement général des diverses eaux fournies par la nature, on cite presque toujours ce passage de Celse : *Aqua levissima pluvialis est, deinde fontana, tum ex puteo, post hæc ex nive aut glacie, gravior his ex lacu, gravissima ex palude*, en admettant avec lui que les eaux naturelles se répartissent comme suit par ordre de *légèreté :* eau de pluie, eau de source, eau de rivière, eau de puits, eau de glacier, eau de lac, eau d'étang ou de marécage.

Mais ce classement n'est plus conforme aux idées modernes, et il est maintenant considéré comme erroné. Il y a quelques années, la Commission anglaise de la pollution des rivières proposait de le remplacer par la classification suivante :

Eaux salubres....	1 Eau de source.....	très agréables au goût.
	2 Eau de puits profonds.....	
Eaux suspectes...	3 Eau superficielle de montagne.	assez agréables au goût.
	4 Eau de pluie.....	
Eaux dangereuses.	5 Eau superficielle de terrain cultivé.....	potables.
	6 Eau des rivières recevant des eaux d'égout.	
	7 Eau des puits ordinaires.....	

qui, bien que plus satisfaisante, n'a certainement rien d'absolu, car on peut faire de bonnes distributions avec les eaux désignées comme suspectes ou même dangereuses.

D'ailleurs, nous l'avons vu, on ne saurait guère employer l'eau de pluie ni l'eau de puits pour l'organisation d'un service de quelque importance; le choix se trouve restreint aux eaux des rivières et des lacs, à celles des sources et des nappes souterraines. De ces trois principaux

modes d'alimentation, les deux derniers tendent actuellement à l'emporter, à cause surtout de la difficulté que l'on éprouve à écarter toute cause présente ou future de contamination lorsqu'on a recours au premier : puis l'on recherche de plus en plus la limpidité et la fraîcheur, ce qui donne nécessairement l'avantage aux eaux provenant de l'intérieur du sol sur les eaux de superficie. Il est vrai que les sources font souvent défaut, que les nappes souterraines n'offrent pas toujours une ressource suffisamment sûre et abondante, tandis que les rivières, les fleuves, les lacs, fournissent des quantités d'eau presque indéfinies et d'une qualité très acceptable dans bien des cas.

123. Étude des conditions locales. — En réalité, il y a lieu de faire une étude spéciale toutes les fois qu'il est question d'établir une distribution d'eau; et le congrès de Dusseldorf paraît avoir posé le vrai principe lorsqu'il a pris, en 1876, la décision suivante :

« Toutes choses égales d'ailleurs, on doit donner la préférence au « système qui présente le plus de garanties d'une bonne alimentation en « tout temps, par suite de la simplicité et de la sûreté de son fonctionne- « ment, et qui exige la moindre dépense de premier établissement et de « frais annuels capitalisés. »

Pour se prononcer en parfaite connaissance de cause, il faut tout d'abord poser avec soin les *données* du problème : quantités nécessaires, qualités requises, dépense possible, puis passer en revue les ressources de la région, classer et discuter les diverses solutions, éliminer celles que tel ou tel motif rend inacceptables, et faire une comparaison complète et rationnelle de celles qui ont résisté à l'élimination.

Dans cette étude délicate, il est souvent nécessaire de tenir compte aussi de certaines particularités locales, de diverses circonstances qui ne se rattachent pas directement à la seule considération du mode d'alimentation : tantôt les eaux de sources auxquelles on voudrait recourir sont utilisées déjà, tantôt les rivières servent à la navigation, tantôt elles fournissent aux prairies des eaux d'irrigation, de la force motrice aux usines, des eaux d'arrosage ou d'agrément dans des propriétés particulières, etc., et l'on ne peut détourner une partie du débit sans nuire aux usagers, d'où l'obligation de mettre en balance les différents intérêts en présence, d'étudier les conséquences de la perturbation apportée au régime ancien, les points de droit qu'elle soulève, d'évaluer l'importance des indemnités ou des compensations à fournir pour réparation du préjudice causé.

Fréquemment l'alternative se pose entre une *alimentation par machines* et une *dérivation*, entre des eaux basses à élever au moyen d'engins spéciaux et des eaux qui peuvent être amenées simplement par l'effet de la gravité. Il n'est pas rare que le premier système se recommande par une dépense moindre de premier établissement, mais il exige une surveillance assidue, un entretien continu et délicat, des frais annuels

relativement considérables. Le second ne comporte qu'un entretien presque nul, des frais annuels très réduits, mais suppose presque toujours un capital important pour la construction des ouvrages. Les machines procurent peut-être une sécurité plus grande, pourvu qu'il y en ait au moins une de rechange, et que l'on apporte les soins convenables à l'exploitation; tandis que la rupture d'un aqueduc peut causer une interruption complète du service pendant un temps plus ou moins long. D'autre part, une dérivation présente le caractère d'une solution définitive, d'un monument durable, alors que les machines les mieux établies, les mieux entretenues, devront être remplacées au bout d'un temps limité.

Enfin la recherche des eaux souterraines ne va pas sans quelques risques, sans dépenses aléatoires, qui engageraient parfois gravement la responsabilité de ceux qui en auraient pris l'initiative et peuvent motiver des hésitations légitimes.

124. Qualités requises. — Nous avons précédemment fait connaître quelles sont en général les qualités que doit présenter l'eau destinée à l'alimentation; mais telle ou telle exigence peut primer les autres suivant les localités, les habitudes, les préférences plus ou moins raisonnées de la population.

La fraîcheur et la limpidité, très appréciées dans les pays tempérés où l'on boit de l'eau pure, le sont beaucoup moins dans les pays du Nord, où la rigueur du climat impose les boissons chaudes ou fermentées : ceux-ci se contenteront d'eaux de superficie, d'eaux de lac ou de rivière, ceux-là rechercheront volontiers des eaux souterraines.

Tantôt une eau agréable à la boisson sera considérée comme un bienfait, quoique assez dure; tantôt on rejettera une eau moins chargée de sels parce qu'elle sera impropre à certains usages industriels spéciaux. Ici une forte pression est indispensable pour le service de quartiers hauts ou pour la fourniture de force motrice, là un sol plat et uni, des maisons sans étages, permettent de faire un bon service avec une très faible pression. Telle ville regarde comme excellente une alimentation par drainages, par puits forés, par filtration artificielle; telle autre croirait la salubrité gravement compromise si tous les habitants ne recevaient pas de l'eau de source.

125. Quantités nécessaires. — Il n'y a rien d'absolu non plus en ce qui concerne les quantités : dans les pays où l'eau est rare, on sait se contenter de peu, tandis qu'on la gaspille dans les villes où elle est répandue en abondance; ce qui serait ici le strict nécessaire suffit là pour satisfaire et au delà à tous les besoins. Pour fixer les idées, il n'est pas d'autre moyen que de procéder par comparaison, de rechercher des cas analogues à celui que l'on considère : villes de même importance, industries peu différentes, usages semblables, eaux de même nature, et d'en tirer des inductions, mais en tenant grand compte des particularités locales, des habitudes de la population, etc.

Le mode de délivrance de l'eau aux consommateurs n'est pas sans influence sur la quantité consommée : elle reste dans des proportions raisonnables partout où elle est soumise à un contrôle efficace, elle s'exagère et dépasse toute limite là où le contrôle est insuffisant ou nul; elle est plus grande avec une distribution constante qu'avec un service intermittent. Il ne faut donc pas omettre cette considération dans les calculs.

Puis, lorsqu'on a établi le chiffre qui représente la consommation actuellement probable, il convient de faire la part de l'extension qu'elle prendra sûrement dans l'avenir, « non pas qu'il faille dès l'origine faire « tous les sacrifices nécessaires pour doubler ou tripler la distribution... « mais on doit donner à tous les travaux des dispositions qui permet- « tent d'augmenter la distribution avec le moins de perte possible. » (Dupuit). Le système qui se prête à des augmentations successives du débit et à l'échelonnement des dépenses répond mieux que tout autre à cette condition. Les prises en rivière et les alimentations par machines ont ici l'avantage, parce que, d'une part, rien n'est plus facile que d'augmenter la puissance des engins élévatoires quand on le veut, et que, d'autre part, on dispose généralement d'une réserve presque indéfinie, les installations premières n'utilisant qu'une faible fraction du débit. Au contraire, les sources ne fournissent qu'une quantité d'eau presque toujours limitée, et il est impossible d'augmenter après coup la portée d'un aqueduc.

126. Dépense. — Quelque prospère que soit la situation financière d'une ville, ce n'est pas moins un devoir pour ses représentants que de se préoccuper de l'importance des dépenses à prévoir pour la réalisation de tel ou tel projet, et de donner la préférence, toutes choses égales d'ailleurs, à la solution qui impose au budget le plus faible sacrifice. Le mieux serait, en pareil cas, l'ennemi du bien ; et la municipalité qui adopterait une solution dispendieuse, parce qu'elle comporterait un ouvrage plus monumental ou des dispositions plus élégantes, tandis qu'une autre moins brillante, mais plus économique, eût donné les mêmes résultats, n'aurait certainement pas bien mérité de ses administrés ; ceux qui ont le maniement des deniers publics ne sont-ils pas tenus, en effet, de les ménager, afin d'en tirer la plus grande somme d'améliorations possible?

Il faut se garder aussi, sans aucun doute, de l'exagération contraire ; et une aveugle parcimonie serait plus coupable encore peut-être qu'une ruineuse prodigalité. L'eau de bonne qualité n'est-elle pas le premier élément de salubrité pour une ville? L'hygiène ne commande-t-elle pas de l'y répandre à profusion ?

Qu'est-ce à dire sinon que l'on doit se tenir dans une juste mesure, éviter les dépenses de luxe, se borner au nécessaire, mais le faire largement, sans hésiter, afin d'assurer à la fois pour le présent et pour l'avenir une abondante et saine alimentation?

127. Alimentation multiple. — Il peut arriver que l'étude entreprise pour l'établissement d'une distribution d'eau démontre l'impossibilité de satisfaire à toutes les conditions du problème au moyen d'une seule des solutions en présence : Celle-ci ne saurait fournir une quantité d'eau suffisante, mais elle a l'avantage au point de vue de la qualité ; celle-là donnerait et au delà le débit nécessaire , mais la qualité laisserait à désirer ; telle autre serait excellente, mais trop chère, s'il fallait lui demander la totalité de l'alimentation, etc.

C'est en pareil cas que l'on se trouve conduit à recourir à une *alimentation multiple.*

Dans les très grandes villes, on peut le dire, il n'y a guère moyen de l'éviter; car il sera toujours malaisé d'amener sur un seul point et par un ouvrage unique une masse d'eau considérable, et, y arriverait-on, qu'une autre difficulté se présenterait pour la répartir ensuite sur une surface étendue. D'ailleurs, il est avantageux de diviser les risques, et les conséquences d'un accident sont bien moins redoutables s'il ne peut en résulter qu'une perturbation partielle.

Une alimentation multiple ne comporte pas toujours des canalisations distinctes, une distribution également multiple : les diverses eaux amenées par dérivations ou élevées par machines, peuvent être toutes mélangées dans un réservoir unique ou dans un système de réservoirs reliés entre eux, d'où partent les artères principales du réseau de conduites. Mais souvent chaque nature d'eau sera réservée à un quartier distinct, et l'on aura, pour ainsi dire, plusieurs distributions d'eau voisines, mais séparées, chacune d'elles ne comportant qu'une canalisation unique dans le périmètre qu'elle dessert. D'autres fois on adoptera deux canalisations et l'on classera les diverses sources d'alimentation en deux catégories : l'une pour les usages domestiques, l'autre pour les usages publics et industriels.

Les villes de deuxième ou de troisième ordre, qui doivent chercher autant que possible à simplifier les rouages, afin de rendre le contrôle et la surveillance plus faciles, préféreront d'ordinaire un système unique d'alimentation et de distribution lorsqu'elles entreprendront de toutes pièces l'installation d'un service d'eau. Néanmoins diverses circonstances, et, entre autres, l'existence d'une ancienne distribution devenue insuffisante, peuvent y motiver aussi l'adoption d'une alimentation multiple et même d'une distribution double.

Mais dans tous les cas il convient de ne délivrer dans les habitations qu'une seule nature d'eau, afin d'éviter des confusions inévitables et fâcheuses pour les usages domestiques : comment empêcher, en effet, d'une manière efficace l'emploi de l'une des eaux pour la boisson si elles sont toutes deux à la portée de la main ? A Paris, on a pu sans inconvénient réel pousser jusque dans les maisons la double canalisation, et il est beaucoup d'immeubles pourvus à la fois de l'eau de source et de

l'eau de rivière, sans que la confusion y soit possible : grâce à la différence de pression des deux services, l'une des deux eaux se trouve forcément réservée aux usages des écuries, remises, cours... et l'autre, atteignant seule les étages supérieurs dessert nécessairement les cuisines, cabinets de toilette, etc.

128. Difficulté du choix. — On conçoit sans peine qu'il ne soit pas toujours facile de concilier des conditions parfois contradictoires : et trop souvent aucune des solutions en présence ne réunit à la fois qualité, quantité et économie. Il faut donc les discuter une à une, les comparer avec grand soin, finalement céder sur tel ou tel point, et arriver enfin à une sorte de transaction de manière à satisfaire le mieux possible à l'ensemble des exigences constatées. Le choix soulève par suite bien souvent des questions fort délicates, et c'est ce qui explique les discussions parfois passionnées auxquelles donnent lieu les projets de distribution d'eau, les hésitations fréquentes des municipalités, et l'obligation où elles se trouvent de recourir aux ingénieurs spéciaux les plus autorisés pour préparer et motiver la décision à prendre.

Avant tout, il faut s'efforcer d'éviter les idées préconçues : que l'on tienne compte de toutes les conditions du problème, que l'on fasse une étude complète des diverses solutions possibles, qu'on les soumette à une discussion consciencieuse, et la lumière doit se faire, le choix s'imposer. Peut-être ce choix prêtera-t-il encore à quelques critiques et ne sera-t-il point parfait de tous points : là comme en bien des choses, il faut savoir se contenter d'un *à peu près*.

CHAPITRE VII

MODES DE CAPTATION ET DE PUISAGE

Sommaire :

§ 1er. *Utilisation de l'eau de pluie.* — 129. Les citernes. — 130. Nécessité de précautions spéciales. — 131. Dispositions recommandées. — 132. Citernes filtrantes.
§ 2. *Emploi des eaux de superficie :*
a. *Eaux courantes :* 133. Prises directes en rivière. — 134. Précautions particulières. — 135. Conduites d'aspiration. — 136. Théorie de la filtration naturelle.
b. *Eaux dormantes :* 137. Prises d'eau dans les lacs. — 138. Réserves artificielles. — 139. Mode d'établissement des réserves. — 140. Grands barrages. — 141. Ouvrages accessoires.
§ 3. *Emploi des eaux souterraines :*
a. *Première nappe ou nappe des puits :* 142. Puits ordinaires. — 143. Puits instantanés. — 144. Drainages. — 145. Galeries captantes.
b. *Nappes inférieures :* 146. Puits profonds ou galeries. — 147. Forages.
c. *Nappes artésiennes :* 148. Puits artésiens. — 149. Débit des puits artésiens. — 150. Particularités diverses. — 151. Mode d'exécution. — 152. Grands puits artésiens de Paris.
d. *Sources :* 153. Prises dans les bassins sourciers. — 154. Travaux de captage. — 155. Ouvrages de captation. — 156. Précautions spéciales. Ouvrages accessoires.

§ 1er.

UTILISATION DE L'EAU DE PLUIE

129. Les citernes. — Le moyen le plus simple de recueillir l'eau de pluie tombée sur les toits des bâtiments est d'amener le produit des gouttières dans une dépression du sol rendue étanche par une légère couche d'argile : on a ainsi une *mare* comme on en rencontre dans beaucoup de fermes de la Normandie et de la Beauce. Mais l'eau de ces mares se corrompt rapidement et se couvre de végétations : elle est impropre à l'alimentation.

Partout où l'eau de pluie est recueillie pour la consommation domestique, on fait usage de *citernes*.

Ce sont des réservoirs, la plupart du temps creusés dans le sol au-dessous ou auprès des bâtiments, aux parois revêtues d'argile, de bois, de métal, ou maçonnés et couverts. Un *trop-plein* assure l'évacuation

des eaux surabondantes ; un *tuyau de puisage* sert à y prendre l'eau au moyen d'une pompe, à moins qu'on n'y plonge tout simplement un seau.

Les citernes ont été répandues dès la plus haute antiquité : nous avons cité celles de Jérusalem ; Carthage en avait d'immenses qui furent restaurées et utilisées par les Romains et qui vont servir de réservoirs pour Tunis. Elles sont encore employées presque dans tous les pays ; et en Suisse, en Hollande, en Autriche, en Italie, aux États-Unis elles servent même quelquefois à l'alimentation des villes.

Grimaud de Caux, dans son ouvrage sur les *Eaux publiques*, a montré le parti que l'on peut tirer des citernes pour une alimentation rationnelle des habitations rurales et des petites agglomérations, situées loin des sources et des rivières, et où l'eau de puits fait défaut.

130. Nécessité de précautions spéciales. — Il ne faut pas se dissimuler, cependant, que les citernes constituent un mode d'alimentation assez imparfait, parce qu'elles impliquent la stagnation de l'eau. Elles ne peuvent répondre aux besoins domestiques qu'à la condition d'être construites avec grand soin et entretenues avec des précautions toutes spéciales, qui sont dans la pratique un véritable assujettissement et risquent fort par suite d'être souvent négligées.

Si l'on n'éloigne pas, en effet, les premières eaux de pluie, nécessairement chargées de toutes les souillures entraînées, pour recueillir seulement les eaux subséquentes relativement pures ; si on ne maintient pas le tuyau de puisage à un niveau convenable, assez loin du fond pour ne pas agiter les impuretés qui s'y déposent et de la surface pour ne pas recueillir celles qui flottent, si l'on n'assure pas la propreté constante de l'eau par des curages fréquemment renouvelés, on risque de voir cette eau se corrompre et l'on s'expose à mille causes d'insalubrité.

C'est là ce qui explique la tendance moderne vers l'exclusion des eaux de citernes, soit pour la boisson, soit même pour les autres usages ; elles disparaissent peu à peu dans les villes pourvues d'une distribution d'eau.

131. Dispositions recommandées. — Il importe de se conformer aux recommandations suivantes, si l'on veut tirer d'une citerne le meilleur parti possible :

Éloigner par un moyen automatique ou non les premières eaux de pluie ;

Décanter toujours les eaux recueillies dans un *citerneau* d'où elles passent par déversement dans la citerne proprement dite ;

Rendre les parois absolument étanches afin d'empêcher toute communication avec les eaux plus ou moins impures du sous-sol ;

Éviter toute liaison entre le trop-plein et les conduits d'assainissement des habitations, afin de rendre impossible la pénétration de liquides ou de gaz insalubres ;

Employer des matériaux inaltérables à l'eau — le mortier laisse dissoudre un peu de chaux, la tôle se rouille et rend l'eau ferrugineuse, le goudron lui communique un mauvais goût, etc. ;

Déterminer avec soin la position du tuyau de puisage qui doit toujours être alimenté tout en restant suffisamment éloigné du fond et de la surface ;

Maintenir la réserve d'eau dans l'obscurité, afin d'y empêcher le développement de la vie animale et végétale ;

Nettoyer fréquemment toutes les parties de l'ouvrage et les curer à vif fond, deux fois par an au moins.

Bien souvent quelqu'une de ces précautions a été négligée ; et l'on rencontre des citernes qui ne sont ni étanches ni à l'abri de la lumière, où l'eau est recueillie et puisée sans aucun soin, qu'on cure peu ou point ; il s'y forme alors d'abondants dépôts de matières organiques et autres, mis en mouvement à chaque pluie, et qui entrent en putréfaction pendant l'été, en communiquant au liquide une saveur *sui generis*, celle de l'eau *croupie*. M. Nichols cite une enquête faite à Memphis (États-Unis), d'où il est ressorti que, sur 529 citernes visitées, 190 n'étaient pas étanches et 94 douteuses ! Il mentionne également les citernes en bois de cyprès très répandues à la Nouvelle-Orléans et qui sont établies presque toujours au-dessus du sol, à peine ou point couvertes, et quelquefois exposées aux émanations de privés mal tenus.

En sens inverse, et comme preuve de la possibilité de conserver indéfiniment l'eau de pluie lorsque les précautions ont été bien prises, il est à propos de rapporter ici la découverte faite, il y a quelques années, à Alger, d'une citerne antique cachée sous une mosaïque entièrement recouverte de terres, et où l'eau a été encore retrouvée agréable à boire et bonne à tous les usages, après y avoir séjourné pendant de longs siècles !

132. Citernes filtrantes. — On peut apporter aux citernes une notable amélioration en y adaptant un mode de filtration de l'eau soit au moment où on la recueille, soit à l'instant où on la puise.

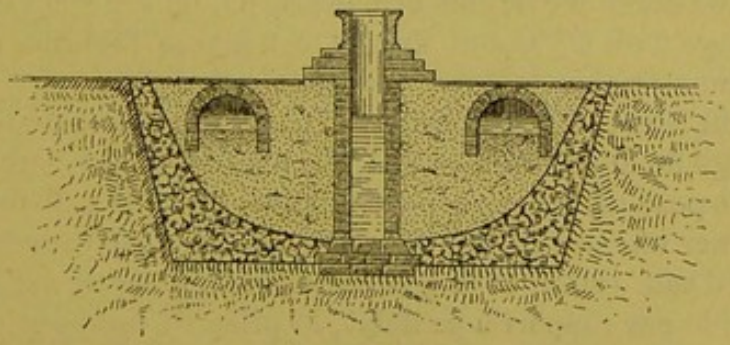


Fig. 9.

Les *citernes de Venise* fournissent un exemple classique du premier type. Pendant longtemps elles ont été le seul mode d'alimentation de

cette ville si originale. Elles se composaient d'un réservoir creusé dans le sol en forme de tronc de pyramide renversé, et dont les parois étaient couvertes d'un lit d'argile compacte obtenu en lançant avec force les unes sur les autres une série de boules d'argile pétries à la main ; le réservoir était rempli de sable fin et l'eau y arrivait par des bâches, dites *cassetoni,* en pierre, placées aux angles, et reliées par une rigole en briques posées à sec ; elle était recueillie, après avoir traversé le sable, dans un puits circulaire central alimenté par des barbacanes placées à la partie inférieure.

Le second type, fréquemment employé aux États-Unis, mériterait d'être plus répandu. Tantôt le tuyau de puisage plonge dans une petite chambre séparée de la citerne par une cloison poreuse en pierre, en brique ou même en charbon ; tantôt l'aspiration se fait à travers un filtre fixe ou mobile ; ailleurs l'eau est recueillie dans un réservoir placé sous le toit et passe à travers un filtre avant de descendre dans l'intérieur de la maison, ou bien elle est refoulée par une pompe de la citerne souterraine dans un réservoir supérieur pourvu d'un filtre.

§ 2.

EMPLOI DES EAUX DE SUPERFICIE

a. *Eaux courantes.*

133. Prises directes en rivière.—Lorsque, pour l'alimentation d'une ville, on fait un emprunt à un cours d'eau, deux cas se présentent, suivant que l'eau doit être amenée par l'effet de la gravité et au moyen d'une rigole, d'un canal, d'un aqueduc ou d'une conduite forcée, ou qu'elle est aspirée et refoulée par des engins mécaniques.

Dans le premier de ces deux cas, les ouvrages de prise d'eau ne diffèrent pas essentiellement de ceux qu'il est d'usage d'établir pour dériver les eaux utilisées par les usines hydrauliques et les irrigations. Si le débit total du cours d'eau doit être détourné, on construit en travers du lit un barrage fixe, à l'amont duquel est placée l'origine de la dérivation : les eaux surabondantes s'écoulent, s'il y a lieu, par déversement au-dessus du barrage, et un orifice inférieur sert à faire de temps à autre un nettoyage de la retenue. Quand on n'a besoin que d'une fraction du débit, on dispose un ouvrage partiteur, de manière à diviser le courant et à détourner une moitié, un tiers, une portion déterminée quelconque du volume d'eau. Enfin, si la quantité d'eau à prélever sur le débit total est très faible par rapport à ce débit, la prise se compose d'une simple chambre maçonnée ou d'un bout d'aqueduc établi sur la rive, et muni d'un système quelconque de fermeture mobile.

On a encore recours à des ouvrages du même genre, toutes les fois

que l'eau doit passer par des bassins de dépôt ou de filtrage, avant de parvenir aux machines élévatoires.

Les dispositions de ces ouvrages de prise d'eau varient à l'infini, suivant les circonstances locales; et, comme ils ne présentent pas d'intérêt spécial au point de vue de l'alimentation, nous ne nous arrêterons pas à en décrire les types les plus répandus.

134. Précautions particulières. — Il convient cependant d'indiquer les conditions auxquelles ils doivent satisfaire.

Comme l'eau doit être puisée au point où elle est le plus pure, on recommande de placer la prise loin de toute cause de contamination, débouché d'égout, lavoir, etc. Dans les grands cours d'eau, il faut éviter les endroits où le défaut de vitesse et les remous tendent à accumuler les impuretés, et prendre l'eau soit en plein courant, soit dans une partie de la rive constamment balayée par un écoulement rapide.

Parfois, il y a intérêt à recueillir l'eau à un niveau déterminé, tantôt à la surface et par déversement, tantôt à quelque profondeur au moyen d'orifices pourvus ou non d'un système de fermeture mobile. Ailleurs, on se proposera de la prendre à une profondeur constante au-dessous de la surface, dont le niveau est lui-même variable; et l'on emploiera, pour y parvenir, un artifice plus ou moins ingénieux, comme celui qui a été appliqué sur la rivière Dee pour la distribution d'eau d'Aberdeen, où un tuyau à joint mobile, formant déversoir à sa partie supérieure, et placé dans une chambre en communication avec le cours d'eau, se déplace de manière à fournir un débit constant.

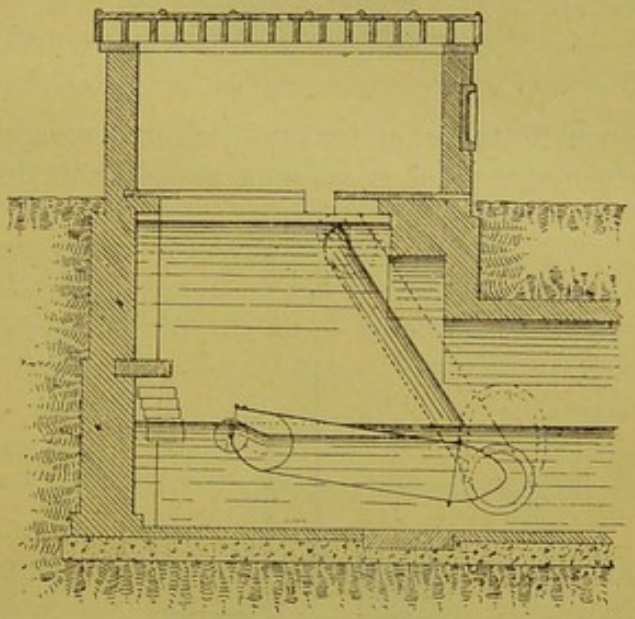


Fig. 10.

Presque toujours il est indispensable d'arrêter les corps flottants, d'en empêcher l'introduction dans les conduits : des *grilles*, fixes ou mobiles, à barreaux plus ou moins rapprochés, à mailles plus ou moins serrées, sont généralement employées à cet effet.

Le service des eaux de Paris se sert d'un type de grille fixe qui mérite d'être cité : c'est une série de fers plats, maintenus à des écartements réguliers de $0^m,015$ à $0^m,020$ par des traverses, et qui présentent leur tranche au courant; en ne les engageant qu'à moitié dans les traverses, et leur donnant une position inclinée, on rend très facile le nettoyage au moyen de griffes ou de râteaux. On y a souvent aussi fait emploi de

grilles mobiles composées d'un cadre en fer portant une toile métallique; un panier, également en métal, placé à la partie inférieure, retient les

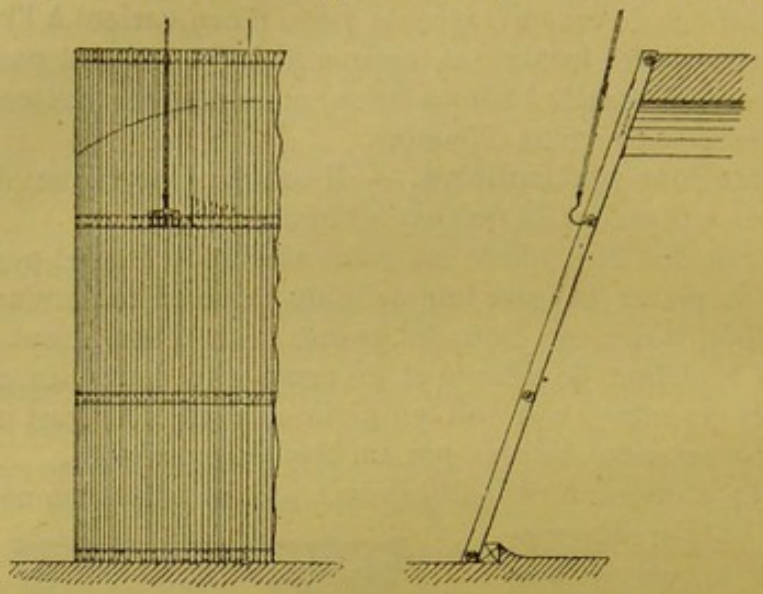


Fig. 11.

corps flottants, et, en juxtaposant deux appareils semblables qui servent alternativement et qui sont mus à l'aide de treuils ou de contrepoids, on

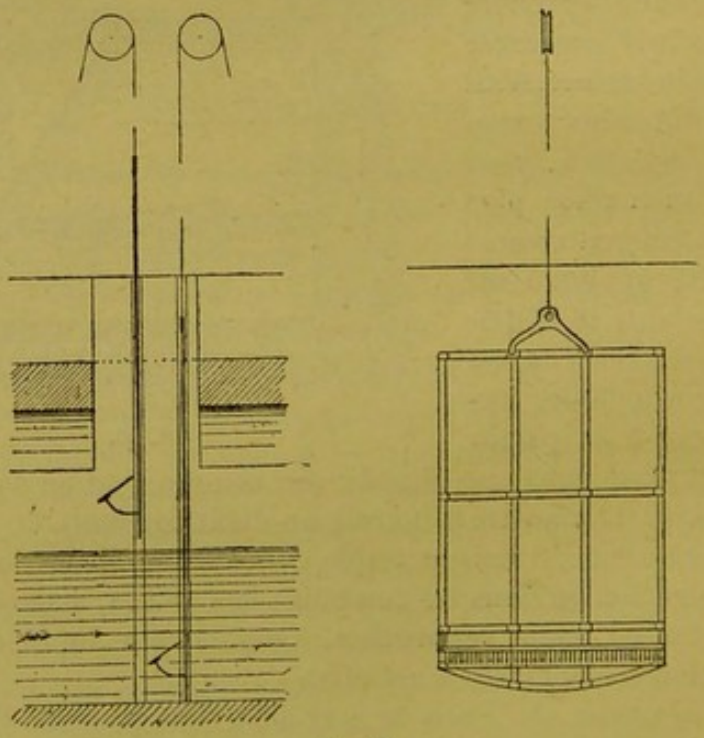
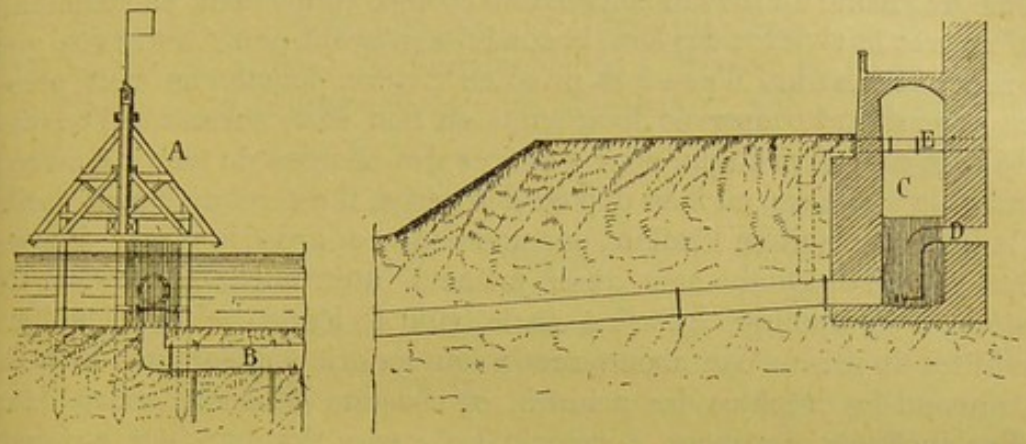


Fig. 12.

assure un nettoyage facile et rapide, en même temps qu'un service ininterrompu.

135. Conduites d'aspiration. — Lorsque la prise en rivière est en relation directe avec les machines élévatoires, elle se réduit à une *con-*

duite d'aspiration en fonte ou en tôle posée dans une tranchée au fond de la rivière et sur la rive jusqu'à l'entrée de l'usine. Il y a grand intérêt dans ce cas à empêcher l'introduction des corps flottants et des



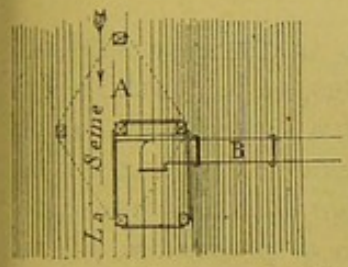


Fig. 13. — Prise d'eau de l'usine d'Ivry. — A, patte d'oie; — B, conduite de prise d'eau; — C, galerie de puisage; — D, Tuyau d'aspiration; — E, conduite d'eau en pression pour les chasses.

sables; et, à cet effet, la conduite doit déboucher dans le courant même, à une certaine hauteur au-dessus du fond, et présenter son orifice vers l'aval; par surcroît de précaution, on en garnit souvent l'extrémité d'une sorte de grillage formant *crépine*. Et si la rivière est navigable, on la protège contre le choc des bateaux en la surmontant d'une estacade en charpente ou *patte d'oie* avec voyant apparent, que l'on éclaire au besoin pendant la nuit. Ces diverses dispositions sont appliquées aux prises d'eau établies en Seine par le service des eaux de Paris.

La conduite peut être posée à l'abri d'un bâtardeau, ou formée de tuyaux à joints mobiles qui permettent de la couler dans l'eau. Souvent elle est en tôle et rigide, on la fait alors flotter aisément, et, après l'avoir amenée au-dessus de l'emplacement qu'elle doit occuper, on la descend en y introduisant une surcharge d'eau; une ligne de pieux contre laquelle elle s'appuie assure la réussite de l'opération, et des plongeurs font ensuite sous l'eau les raccordements nécessaires.

Malgré toutes les précautions, il est rare que les conduites ne s'ensablent pas plus ou moins vite; et, en vue de cette éventualité, on doit se ménager les moyens d'en opérer le nettoyage. Le mode le plus pratique est l'emploi des *chasses* au moyen de l'eau à haute pression, empruntée aux conduites de refoulement de l'usine élévatoire, que l'on introduit dans le tuyau de prise d'eau, après l'avoir isolé par un robinet ou une vanne spéciale. De temps en temps il faut recourir en outre au scaphandre pour dégager la crépine et l'orifice d'aval.

Quand la distance est un peu grande de la prise à l'usine, une conduite d'aspiration se maintient difficilement étanche et par les joints elle

aspire alors parfois des eaux souterraines de nature plus ou moins suspecte. Aussi est-il préférable, dans ce cas, de faire plonger les prises des appareils élévatoires dans une *chambre d'eau* établie dans l'enceinte même de l'usine au niveau convenable et mise simplement en communication avec la rivière ; dès lors, la conduite, n'ayant plus d'autre rôle que de relier la chambre d'eau à la prise en rivière, fonctionne sans pression et peut être conservée longtemps en bon état, surtout si l'on dispose d'un moyen pratique pour y opérer des chasses de temps à autre ; quant à la chambre, où il se dépose des vases, il est relativement facile de la nettoyer, soit en l'isolant par une vanne et procédant par épuisement, soit en draguant sans avoir même à interrompre le service. Ce système a été appliqué à l'usine de la ville de Paris, à Ivry ; les deux conduites de prise d'eau aboutissent à une galerie voûtée, dans laquelle se trouvent les crépines des pompes, et chacune débouche entre deux grilles inclinées destinées à retenir les corps flottants qui auraient échappé aux grillages des pattes d'oie.

136. Théorie de la filtration naturelle. — Les troubles constituant l'inconvénient le plus sensible des eaux de rivières, on a cherché à s'y soustraire en puisant l'eau, non point dans le lit des cours d'eau, mais dans les dépôts de gravier perméables qui se forment en certains points sur les rives, afin de la recueillir après son passage à travers une certaine épaisseur de gravier et d'obtenir ce que l'on a qualifié de *filtration naturelle*.

Ce principe paraît avoir été appliqué pour la première fois à Toulouse, par d'Aubuisson, en 1825-1828 : on y obtint de l'eau limpide et fraîche, d'une qualité très supérieure à celle des eaux souvent boueuses de la Garonne. Le succès de la tentative provoqua de nombreuses imitations : les distributions d'eau de Lyon et de Nîmes, dues à M. Aristide Dumont, ardent propagateur et défenseur convaincu de la filtration naturelle, celles d'Angers, de Nevers, de Blois, de Fontainebleau, etc., furent établies d'après le même système. On en cite aussi de nombreuses applications à l'étranger : Nottingham et Perth en Angleterre et en Écosse, Dresde, Magdebourg en Allemagne, Gênes en Italie, Lowell aux États-Unis, etc.

Une étude plus approfondie de ce mode de captation des eaux a montré que les galeries ainsi établies, bien qu'à peu de distance de la berge, ne sont généralement pas alimentées par la rivière, et qu'il n'y a pas là, en conséquence, une filtration comme on l'avait cru d'abord. Belgrand a mis bien en évidence l'inexactitude de la théorie : « L'eau qui circule « dans les graviers des berges, dit-il, ne provient pas des rivières ; elle « est toujours à un niveau plus élevé et provient par conséquent des « nappes souterraines. Si, donc, on se contentait de prendre l'eau dans « ces graviers, sans abaisser son niveau, on serait certain de ne pas « recevoir une seule goutte d'eau provenant de la rivière. Mais on admet

« généralement qu'en abaissant notablement le niveau de l'eau de la « tranchée au-dessous de celui de la rivière on fait un appel à l'eau de « cette dernière et qu'on obtient ainsi un filtrage naturel. Telle est l'opi- « nion de plusieurs ingénieurs distingués, notamment de Darcy. J'ai été « conduit à une opinion opposée par l'étude des faits [1]. » Et il montre qu'à Lyon, à Toulouse, à Fontainebleau, à Nevers, à Blois, l'eau des galeries a un titre hydrotimétrique différent de celui des cours d'eau voisins :

	Rivières		Galeries
Lyon..... ..	16°	Rhône.	17°,94 à 18°,43
Toulouse.....	13°,31	Garonne.	15°,92
Fontainebleau..	16°,73	Seine.	21°,20
Nevers.....	4°,96	Loire.	20°,07
Blois.....	7°,76	—	14°,45

Un puits d'expérience creusé dans la plaine d'Ivry à 96 mètres du bord de la Seine (Usine du Port à l'Anglais), en 1861, donna jusqu'à 2.246 mètres cubes d'eau avec un abaissement de niveau de 1 mètre au-dessous du plan d'eau de la rivière, sans que le titre hydrotimétrique descendît au-dessous de 46°,46, alors que l'eau de Seine marquait 19°,58. L'eau d'épuisement, pendant l'exécution des fondations de l'usine du quai d'Austerlitz, à Paris, marquait 135° à l'hydrotimètre ; récemment, lors des travaux de l'usine d'Ivry, l'eau trouvée dans les fouilles titrait 80°. La différence de composition des deux eaux est donc manifeste : l'analyse chimique la confirme. Bien souvent la couleur seule suffirait à les distinguer ; et la différence des températures est toujours nettement caractérisée : à peu près constante dans les galeries, même découvertes, elle est très variable dans les cours d'eau. Aussi tous les auteurs se rangent-ils aujourd'hui à l'opinion de Belgrand, qui n'est plus contestée : « On supposait naguère, « dit le professeur Nichols, — et les personnes qui n'ont pas fait une « étude spéciale du sujet le croient encore — qu'en pareil cas l'eau pro- « vient de la rivière et se trouve filtrée par son passage à travers le « sable et le gravier. Sans doute, dans certains cas, une proportion con- « sidérable est ainsi dérivée, mais en règle générale c'est le contraire « qui est vrai [2]... »

Il faut des circonstances toutes spéciales pour obtenir exceptionnellement de l'eau de rivière filtrée *par des galeries* creusées dans les graviers. C'est ainsi que dans la plaine Saint-Julien, près de Troyes, sorte d'île comprise entre la Seine et la Barse, non loin du confluent, M. Couche a observé, en 1880, un véritable courant souterrain, analogue aux infiltrations d'un canal à flanc de coteau dont une digue ne serait pas étanche : le titre hydrotimétrique des eaux est celui même de la

1. *La Seine*, p. 463.
2. *Water Supply*, p. 118.

Seine; et la température, sans éprouver des variations aussi prononcées que celle des eaux de la rivière, n'a pas la constance ordinaire de celle des eaux de nappe.

En général, c'est parmi les eaux souterraines que doivent être classées celles qui proviennent des galeries creusées au bord des rivières.

b. *Eaux dormantes.*

137. Prises d'eau dans les lacs. — Les prises d'eau dans les lacs peuvent être établies dans des conditions analogues aux prises d'eau en rivière et présenter des dispositions presque identiques. Elles en diffèrent cependant en quelques points. Rares d'ailleurs en France, elles sont surtout nombreuses en Angleterre et aux États-Unis : Glascow est alimentée par le lac Katrin, Boston par le lac Cochituate, Chicago par le grand lac Michigan.

Il est important de placer la prise à un niveau convenablement déterminé, de manière à obtenir toujours un débit suffisant malgré les variations de hauteur de la surface ; assez bas pour éviter l'introduction des corps flottants, les obstructions par les glaces, et pour que l'on conserve une température sensiblement constante.

En outre, dans les lacs qui reçoivent les eaux d'égout des villes, il est nécessaire de puiser l'eau à une distance suffisante des rives contaminées, car l'absence de courant rend le départ des matières très lent, l'oxydation est faible, et l'eau reste corrompue sur une assez grande étendue. Tout dernièrement, il a fallu pour ce motif déplacer la prise d'eau de la ville de Zurich. Chicago a dû faire sa prise à plus de 3 kilomètres du bord au moyen d'un tunnel souterrain, qui aboutit à une énorme tour isolée au milieu du lac et pourvue de vannes à diverses hauteurs.

Lorsque les lacs ont des rives peu inclinées, dans la zone sans profondeur qui les entoure, la végétation se développe et les herbes pourries communiquent à l'eau un goût de poisson, de concombre, de croupi, de sorte qu'elle n'est plus acceptée pour l'alimentation. Ce phénomène s'aggrave encore lorsque, par suite du peu d'étendue du lac, les variations de niveau y sont grandes et qu'une partie des rives est alternativement couverte et à découvert. Dans le premier cas, il peut être utile de construire sur le pourtour des murs ou des perrés de manière à supprimer la partie marécageuse ; dans le second, on est souvent conduit à augmenter la profondeur et la capacité du lac en l'endiguant sur une partie de son pourtour et à le transformer ainsi en réservoir artificiel.

138. Réserves artificielles. — On se procure souvent, en effet, des *réserves* d'eau en arrêtant l'écoulement des eaux de superficie au moyen d'une digue établie en travers d'un vallon ou d'une vallée plus ou moins large.

Lorsque cette réserve est sans profondeur et constitue un *étang*, l'eau

y acquiert bien vite les défauts ordinaires des eaux de marécages et devient impropre aux usages domestiques. Ainsi, quelque intérêt que présente, au point de vue de l'histoire de l'hydraulique, e système ingénieux et complexe d'étangs artificiels créés, au 17e siècle, sur le plateau qui domine Versailles au sud-ouest, pour contribuer à l'alimentation du parc et du château, on ne saurait certainement le proposer comme un exemple à imiter. Les *eaux blanches* des étangs, bien qu'admises encore dans la distribution d'eau de Versailles, sont de qualité médiocre et nécessairement très chargées de matières organiques.

Au contraire, quand on barre une vallée profonde et encaissée et que l'on y forme un véritable *lac*, on obtient une réserve importante, où l'eau se décante, acquiert une température presque constante, s'altère peu, pourvu que la profondeur ne descende nulle part au-dessous de 1m, 50 à 2 mètres, et qui est considérée, particulièrement en Angleterre et aux États-Unis, comme une excellente ressource pour l'alimentation des villes.

La création de réserves artificielles a été pratiquée dans l'antiquité, soit en profitant de dépressions naturelles et les fermant au moyen de barrages et de digues, soit en creusant à bras d'homme d'immenses fouilles destinées à emmagasiner l'eau nécessaire à l'alimentation et surtout à l'irrigation des terres : nous avons cité les grands lacs de l'Égypte, les innombrables réserves d'eau de l'Inde. En Espagne, on a eu recours à ce moyen, pour la fertilisation des campagnes dans des temps fort reculés. A notre époque, il est encore fréquemment appliqué pour le même objet : la construction de grands barrages compte parmi les travaux les plus utiles pour la colonisation de l'Algérie. Le même procédé sert aussi à l'alimentation des canaux de navigation à point de partage, à la régularisation du débit des rivières dont l'eau est utilisée par l'industrie ; il se prête à la compensation destinée à restituer aux cours d'eau en temps normal la fraction du volume que leur enlève l'alimentation des villes, il est enfin très employé pour cette alimentation même. Constantinople, New-York, Washington, Manchester, Dundee, Halifax, Saint-Étienne, Verviers ont des distributions d'eau basées sur la constitution de vastes réserves artificielles.

139. Mode d'établissement des réserves. — La création d'une de ces réserves d'eau suppose une étude approfondie des conditions locales ; il est indispensable de connaître en effet la superficie du bassin versant, la hauteur annuelle des pluies, la fraction que l'on en peut recueillir [1], l'importance des besoins, la capacité à donner à la retenue, et d'apprécier l'influence des infiltrations, celle de l'évaporation, le régime probable. Cette étude soulève une multitude de questions délicates auxquelles il est souvent malaisé de répondre avec quelque certitude, et il ne faut pas

1. 3/7 d'après Mary, Charié-Marsaines ; 1/2 d'après Graeff, Picard.

s'étonner si, dans bien des circonstances et malgré les soins les plus grands, les réserves d'eau ont donné lieu à de sérieux mécomptes.

Pour l'établissement de la *digue* ou du *barrage*, il faut rechercher un emplacement favorable, éviter par exemple le voisinage immédiat des centres habités, choisir le point où, avec la moindre dépense, on obtiendra le maximum de capacité, etc. Parfois on se trouve conduit à substituer à une réserve unique une série de retenues soit superposées dans le même vallon [1], soit réparties dans plusieurs vallons voisins. Dans tous les cas, un examen topographique et géographique doit accompagner l'étude du régime hydraulique.

Au surplus, « les barrages ne peuvent pas être établis indistinctement « dans toute espèce de terrains... il faut que les terrains sur lesquels les « eaux devront s'étendre offrent une résistance suffisante pour supporter « la pression énorme développée par le poids de la digue et des eaux « accumulées ; en d'autres termes, ils ne doivent pas être de nature à se « détremper profondément, à tasser ou à couler quand surviennent les « incidents météorologiques. Sans cela on peut compromettre gravement « la sûreté des villes qui recourent à ce mode d'alimentation, ainsi que « les contrées situées sur le parcours naturel des eaux en aval de la « digue [2]. »

On a conservé en Espagne le souvenir de la rupture du barrage de Guentès le 30 avril 1802 (608 noyés, 89 maisons détruites), en Angleterre celui de la destruction du barrage de Sheffield en 1864 et de l'inondation qui en a été la conséquence (798 maisons détruites, 238 noyés)...; récemment plusieurs des grands barrages algériens ont été emportés pendant la saison des pluies et le flot a ravagé la contrée, détruisant les cultures, entraînant la terre végétale (Habra, 16 décembre 1881). Ces exemples suffisent à faire comprendre la grandeur du péril, la responsabilité qui en résulte, et la nécessité des précautions à prendre dans la préparation des projets, dans l'étude des dispositions d'ensemble et de détail, dans la construction des barrages et des ouvrages accessoires, déversoirs de trop-plein, aqueducs de prise d'eau, vannages, etc., dans la surveillance et l'entretien.

Les eaux se décantant par le repos, derrière les digues qui les retiennent, donnent lieu à des *dépôts* plus ou moins abondants, dont l'accumulation, si elle est tant soit peu rapide, ne tarde pas à devenir un inconvénient grave ; car l'enlèvement des vases est une opération toujours malaisée, et qui constitue la plus grosse difficulté de l'entretien des retenues d'eau.

140. Grands barrages. — Les grands barrages, qu'on établit en

1. Réservoirs du Pas-de-Riot et de Rochetaillée ; voir l'introduction au traité des *Ponts en maçonnerie de l'Encyclopédie*.

2. De Freycinet. *Principes de l'assainissement des villes* ; 1870, p. 42.

travers des vallées pour la formation de vastes réserves artificielles, peuvent être construits en *terre* ou en *maçonnerie*.

Le mode le plus simple d'établissement des barrages en terre est celui qui a été fort anciennement appliqué dans les Indes et dans l'île de Ceylan : sur la terre simplement grattée, le remblai s'exécute par petites couches ; il est foulé aux pieds des hommes et des animaux, tassé par l'effet des alternatives de sécheresse et d'humidité dues à la succession des moussons, et finit par former une énorme masse, bien homogène, qui résiste parfaitement à la pression de l'eau. L'épaisseur du barrage, au couronnement, atteint généralement la moitié au moins de la hauteur maxima. La figure ci-contre donne la coupe d'une digue de ce type, celle de Cummun dans la présidence de Madras.

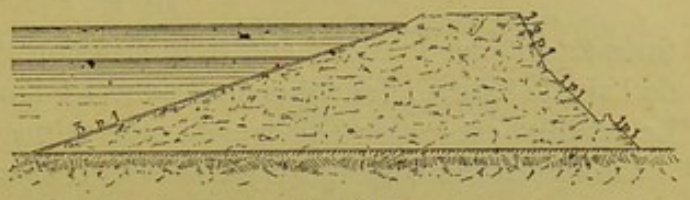


Fig. 14.

A notre époque, ce système de construction exigerait beaucoup trop de temps et une somme trop considérable de main-d'œuvre, et les types modernes de barrages en terre n'ont pas une pareille masse. Le *type français*, dont le principe se rapproche de celui des digues de l'Hindoustan, se compose essentiellement aussi d'un massif homogène et imperméable mais où la terre est remplacée par un *corroi*, sorte de mélange d'argile et de sable rendu compacte par l'addition d'un peu de chaux[1] et trituré au moyen de rouleaux ou de disques en fonte. La largeur en couronne ne dépasse pas 5 à 8 mètres ; le talus amont reçoit une pente de 1,5 pour 1 et se compose soit d'un plan incliné, soit d'une série de gradins, le talus aval présente une suite de pentes variant de 1,5 à 2,5 pour 1 et formant de petits plans inclinés séparés par des banquettes ; la face d'amont est revêtue soit d'un perré reposant sur une couche de cailloux, soit de petits murs en gradins. Ce type a été surtout appliqué à des retenues destinées à l'alimentation des canaux à point de partage.

Fig. 15.

Les nombreuses *digues anglaises*, exécutées plutôt pour l'alimentation des villes, sont d'un système moins satisfaisant : elles se composent toujours d'un massif central en argile corroyée pénétrant profondément dans le sol et de deux autres massifs en remblais ordinaires à talus très inclinés ; le premier assure l'étanchéité, les deux autres procurent la résistance grâce à leur grande épaisseur et à leur empattement considérable. M. Rawlinson donne au corroi une épais-

1. 12 litres de chaux en poudre par mètre cube de corroi (Vallée).

seur de 1 pied par 3 pieds d'eau, et aux deux massifs latéraux, des-

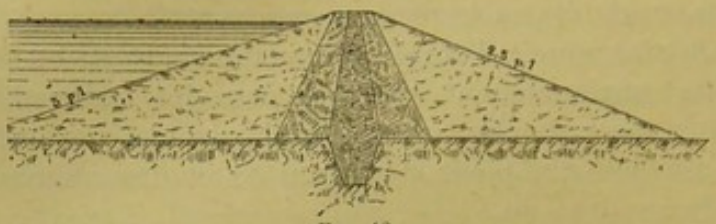


Fig. 16.

tinés à protéger le corroi contre la pression de l'eau d'un côté et l'effet de l'air de l'autre, des talus de 3 pour 1 à l'amont et 2,5 pour 1 à l'aval. Le remblai est exécuté au wagon sans trituration spéciale.

La digue française de Saint-Ferréol (canal du Midi) est d'un type mixte qui se rapproche de celui des digues anglaises et qui ne mérite guère d'être recommandé : elle est formée d'un mur central en maçonnerie de 34 mètres de hauteur sur lequel s'appuient de part et d'autre des massifs en terre limités par des talus à pentes adoucies.

Quand on dispose, pour la fondation de l'ouvrage, d'un terrain suffisamment résistant, les digues en *maçonnerie* ont une supériorité marquée au triple point de vue de la résistance, de la durée et de la facilité de l'entretien ; elles ont d'ailleurs l'avantage de se prêter à des calculs, tandis que l'on n'a pour les digues en terre que des données empiriques ; mais les énormes pressions qui s'y développent supposent nécessairement qu'elles s'appuient sur le rocher. On donne au mur un profil qui en assure la stabilité propre, et souvent en outre une courbure vers l'amont de manière qu'il forme voûte pour résister à la pression. Un type très rationnel est celui qui a été adopté pour le beau réservoir du Furens (Saint-Étienne), mais il suppose une exécution particulièrement soignée et l'emploi de matériaux de choix, capables de résister à l'action continue des suintements, conséquence des fissures dues aux variations de la température ; on peut le considérer comme donnant une section minima au-dessus de laquelle il conviendra de se tenir dans les cas ordinaires, bien qu'il ne puisse plus être question d'en revenir aux énormes massifs des barrages espagnols. Nous renvoyons d'ailleurs pour les méthodes de calcul aux nombreux traités et documents relatifs à la matière [1].

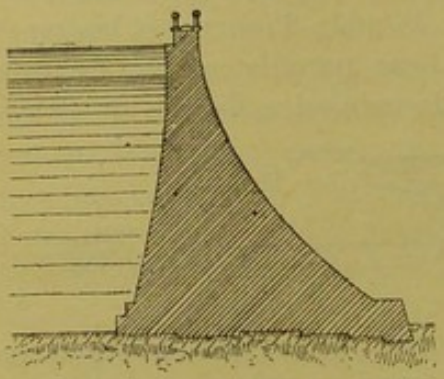


Fig. 17. — Barrage du Furens.

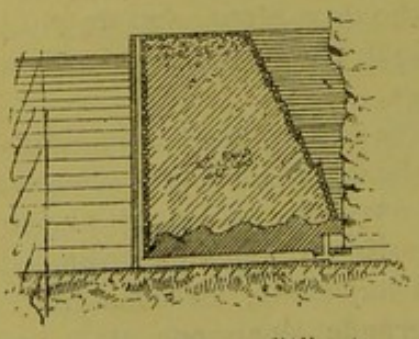


Fig. 18. — Barrage d'Alicante.

1. Guillemain : *Encyclopédie des travaux publics.* (Rivières et canaux) (II, chap. xxv, §7.)

141. Ouvrages accessoires. — Un barrage formant retenue d'eau est nécessairement accompagné de plusieurs ouvrages accessoires, *prise d'eau, bonde de vidange, déversoir de trop-plein*, auxquels viennent s'ajouter parfois des *bassins de décantation*, destinés à recevoir les troubles des affluents, ou des *rigoles de ceinture*, permettant de les dériver, de manière à diminuer l'importance des envasements.

La prise d'eau, la bonde, le déversoir ne doivent pas être établis dans la digue même, si elle est en terre, parce qu'ils en rompraient l'homogénéité et y détermineraient des points faibles qui pourraient devenir une cause de rupture : il y a cependant de nombreux barrages où l'on n'a pas observé cette précaution et qui n'en ont pas moins fonctionné avec succès ; c'est d'ailleurs sans inconvénient lorsque les digues sont construites en maçonnerie. La meilleure disposition consiste à ouvrir dans le flanc du coteau, sur l'un des côtés du vallon, un tunnel destiné à recevoir les conduites de prise d'eau et de vidange, et plus haut, sur le même coteau ou sur le coteau opposé, une rigole découverte ou voûtée pour la décharge de superficie, à moins que le déversoir ne communique lui-même avec le tunnel inférieur. Souvent la prise d'eau est placée dans une tour isolée, construite dans la retenue même, en arrière de la digue, et reliée au couronnement par une passerelle : des vannes disposées à diverses hauteurs livrent passage à l'eau vers les conduites d'évacuation.

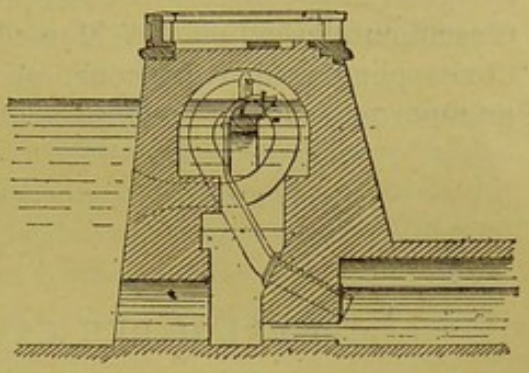


Fig. 19.

Le déversoir de superficie et la bonde de vidange rejettent les eaux inutilisées dans l'ancien lit du cours d'eau, au fond du thalweg de la vallée ; la vitesse de l'écoulement de ces eaux est grande, et pour éviter les ravinements, il faut d'abord adoucir la pente autant que possible, puis recourir à des revêtements maçonnés sur une certaine longueur.

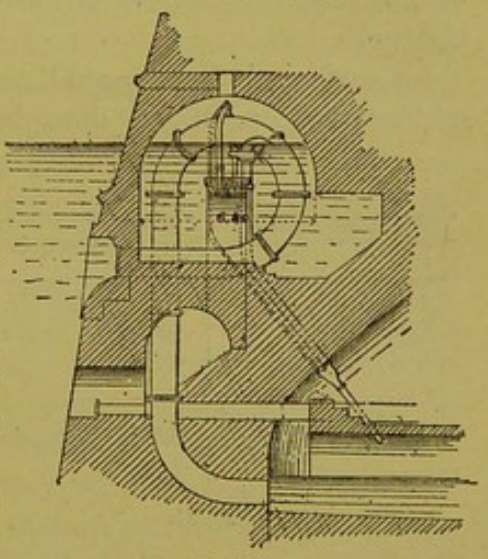


Fig. 20.

Afin d'empêcher les vagues, souvent très hautes, que soulèvent les vents à la surface de la retenue, de franchir le couronnement de la digue, ce qui pourrait compromettre le parement d'aval, on a recours presque toujours à un fort *parapet* en maçonnerie.

Au réservoir de Mittersheim [1], le déversoir de superficie a été rem-

1. Canal des houillières de la Sarre.

placé très heureusement par un appareil fort simple et qui occupe beaucoup moins de place, le *déversoir-siphon* imaginé par M. Hirsch (*fig.* 19). C'est un tuyau métallique recourbé, formant siphon, et qui est amorcé ou désamorcé par l'effet d'un *tuyau amorceur* dont l'orifice présente deux lèvres horizontales, l'une au niveau même de la retenue réglementaire, l'autre quelques millimètres plus bas : lorsqu'il y a un écoulement dans l'amorceur, l'air est entraîné et l'aspiration se produit dans le siphon qui s'amorce ; mais, dès que la lèvre supérieure découvre, l'air rentre, le siphon se désamorce et cesse de fonctionner. — Cet appareil a été récemment perfectionné à Marseille pour le nouveau réservoir Saint-Christophe par M. Ribaucour, qui l'a rendu plus sensible en y adaptant un amorceur et un désamorceur distincts (*fig.* 20).

§ 3.

EMPLOI DES EAUX SOUTERRAINES

a. *Première nappe ou nappe des puits.*

142. Puits ordinaires. — Le moyen le plus simple de puiser l'eau de la première nappe souterraine que l'on rencontre dans l'épaisseur du sol est de creuser un *puits* jusqu'à la rencontre de cette nappe, et de l'y faire pénétrer de quelques décimètres au moins : si l'on vient à épuiser dans la chambre ainsi formée, on y détermine un abaissement de niveau et par suite un appel, et l'eau de la nappe y afflue par l'effet de la charge.

La surface de l'eau prend alors la forme d'un cône de révolution à génératrice curviligne dont le sommet serait sur l'axe du puits. La courbe, ainsi que l'ont démontré Darcy et Dupuit, est indépendante du débit et varie seulement avec les hauteurs d'eau dans le puits et dans le sol, l'étendue de terrain intéressée ou la porosité des couches aquifères, et les dimensions du puits. Il résulte d'ailleurs de la théorie établie par ces deux auteurs que le débit d'un puits est proportionnel à la charge et à l'épaisseur moyenne de la tranche d'eau, lorsque le puits est descendu jusqu'au terrain imperméable, et qu'il varie très peu avec les dimensions données à la section horizontale du puits lui-même.

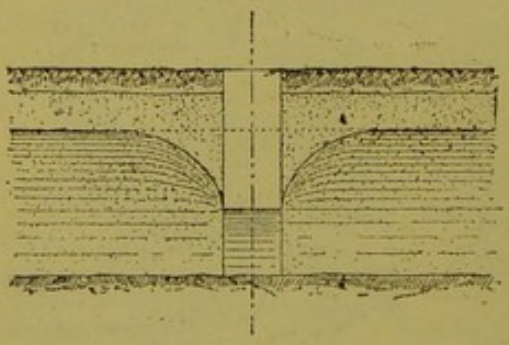


Fig. 21.

Le plus souvent, les puits ne sont pas descendus jusqu'à la couche imperméable sous-jacente ; il en résulte que l'eau afflue par le fond en

même temps que par les parois latérales, ce qui change un peu les conditions de l'écoulement. D'autre part, quand deux puits sont rapprochés l'un de l'autre, les surfaces coniques se pénètrent, et cette intersection a pour conséquence une diminution du débit pour l'un d'eux au moins.

Lorsque le volume d'eau que l'on retire d'un puits dépasse le débit normal que peut fournir la nappe correspondante, le niveau de l'eau s'abaisse d'une façon permanente ; dans le cas contraire, un équilibre s'établit, et le niveau, après s'être abaissé, reste fixe pendant la durée du puisage, puis se relève ensuite plus ou moins rapidement lorsqu'on y a mis fin.

Le débit des puits étant indépendant de la section, on leur donne généralement la forme et les dimensions les plus favorables pour l'usage que l'on en veut faire, l'installation des engins d'épuisement, etc. Le plus souvent, cependant, ils reçoivent la forme circulaire qui est la plus avantageuse, parce qu'elle donne la plus grande surface pour le moindre périmètre, et la meilleure comme résistance, lorsqu'il y a lieu de recourir à un revêtement dans les terrains meubles.

Les matériaux employés pour le revêtement intérieur des puits doivent être indécomposables à l'eau, afin de n'en pas altérer la qualité. Le bois ne sert pour cet usage que dans certains cas particuliers, notamment dans les salines. Quelquefois on emploie des anneaux en tôle boulonnés à l'intérieur et formant extérieurement une surface cylindrique lisse. Mais c'est la maçonnerie qui est la règle. Le bois se conserve bien dans l'eau, mais il pourrit assez vite à l'air humide ; le fer communique à l'eau un goût de rouille ; la maçonnerie, si elle est exécutée avec de la chaux grasse, peut en augmenter la dureté. Il convient de choisir de préférence une maçonnerie de pierres siliceuses ou de briques hourdées au mortier de ciment ou de chaux hydraulique.

Tout puits doit être surmonté d'une *margelle* qui empêche les chutes et facilite le service. Parfois on y ajoute un couvercle destiné à protéger l'eau contre les projections, ou même une toiture à laquelle on suspend les appareils de puisage.

Pour construire un puits, on commence par creuser le sol sans précaution spéciale jusqu'à ce qu'on atteigne le niveau de l'eau. Puis on établit sur le fond de la fouille un cadre en bois ou *rouet*, sur lequel on élève la maçonnerie du revêtement jusqu'à une certaine hauteur, et l'on recommence à creuser en ayant soin d'écoper ou d'épuiser au seau pour faciliter le travail : le rouet descend alors peu à peu sous le poids de la maçonnerie. Ce procédé ne peut guère s'appliquer que lorsqu'il s'agit de pénétrer seulement de $0^m,80$ ou 1 mètre dans l'épaisseur de la nappe. Quand on veut aller au delà, il faut recourir à un épuisement continu, ou draguer sous l'eau, opérer par *épuisement* ou par *havage*. Si, avant d'avoir atteint le fond, le rouet s'arrête, la charge qu'il supporte ne suffi-

sant plus pour vaincre le frottement latéral, on a recours le plus souvent à un second rouet plus petit que l'on passe à travers le premier et avec lequel on recommence la même série d'opérations ; si l'on procède par épuisement, on peut aussi exécuter avec précaution une fouille sous le premier rouet et construire une série de piliers isolés en maçonnerie formant un anneau inférieur. Enfin, lorsqu'on est parvenu au fond, on complète le revêtement en remontant jusqu'au niveau du sol. Quand on se sert d'anneaux en tôle, le premier de ces anneaux porte une tranche en cornières qui fait l'office de rouet. On doit éviter en général les épuisements dans les terrains ébouleux et surtout dans les sables fins si facilement entraînés par l'eau. A la partie inférieure du revêtement, quelle qu'en soit la nature, on ménage toujours un facile passage à l'eau, soit par des *barbacanes* pratiquées dans la maçonnerie, soit en construisant le premier anneau à pierres sèches, soit en perçant des trous dans la tôle.

Le travail terminé, on dispose les appareils de puisage tantôt au-dessus tantôt à l'intérieur du puits. Il n'y a aucun avantage à utiliser, comme on l'a quelquefois proposé, le revêtement même des puits comme conduite d'aspiration : il semble, au premier abord, qu'en recouvrant le puits d'une cloche dans laquelle se produirait l'aspiration, on puisse obtenir un débit plus considérable qu'en y descendant un tuyau de plus petit diamètre ; mais la théorie indique et l'expérience démontre qu'il n'en est pas ainsi. D'ailleurs cela suppose un revêtement absolument étanche, ne permettant aucune rentrée d'air, condition assez difficile à réaliser en pratique.

L'usage des puits est extrêmement répandu dans tous les pays ; ils répondent à une multitude de besoins divers, et fournissent une excellente solution dans bien des cas pour des alimentations restreintes. Parfois même ils desservent de petites distributions d'eau, soit qu'on relie entre eux plusieurs puits au moyen de galeries ou de conduites générales d'aspiration, soit qu'on obtienne un débit assez grand par un puits unique descendu dans une nappe très abondamment alimentée et coulant comme une véritable rivière souterraine dans un terrain entièrement perméable ; ce dernier cas se rencontre dans certaines vallées sèches de la Normandie, à Saint-Valery-en-Caux, à Étretat, ou dans la plaine d'Alsace, à Strasbourg et à Colmar. Il faut alors plus que jamais avoir soin de choisir l'emplacement du puits, de manière à être absolument à l'abri de toute cause de contamination, loin des habitations, des cultures, des épandages de fumier ou d'eau d'égout, des cimetières, etc., et, autant que possible, en amont.

143. Puits instantanés. — Depuis quelques années, on emploie souvent un procédé rapide d'établissement des puits, qui s'est répandu surtout aux États-Unis, et a rendu de grands services à l'expédition anglaise dans la campagne de 1867-1868 en Abyssinie. D'où les noms de

puits américains et *puits d'Abyssinie*, auxquels il convient de préférer la désignation caractéristique de *puits instantanés*.

Un tuyau en fer de 3 à 6 centimètres de diamètre intérieur muni d'une pointe de fer ou d'acier, et percé de trous, est enfoui dans le sol à coups de maillet jusqu'à ce qu'il pénètre dans la couche aquifère. S'il n'est pas assez long, on ajoute un second tuyau en fer plein, ajusté ou vissé sur le premier, puis un troisième, et on surmonte le tout d'une pompe. Il n'y a donc pas de déblai : le sol se trouve légèrement comprimé tout autour du puits dont le revêtement forme en même temps la conduite d'aspiration. Au premier moment, l'eau élevée par la pompe est trouble, parce qu'il se forme sans doute alors une *poche* à la base ; puis elle s'éclaircit peu à peu, et finit par devenir parfaitement limpide.

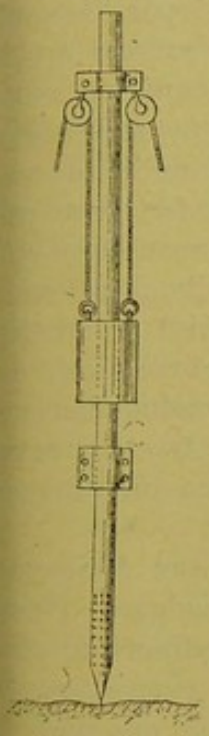


Fig. 22.

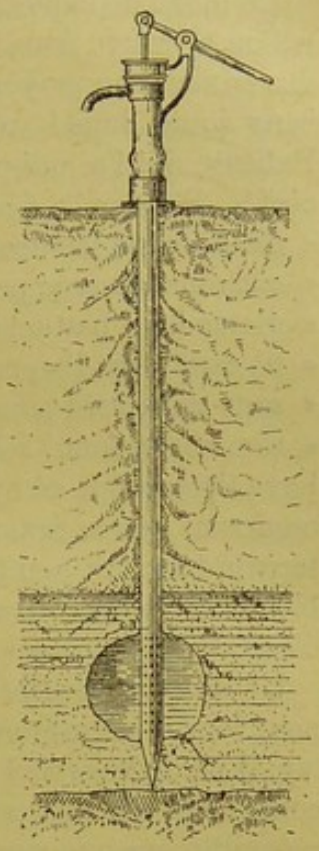


Fig. 23.

Ce procédé est d'une application rapide, commode et peu coûteuse ; il peut être fort utile pour des recherches, des études ou des exploitations de peu de durée. Il a d'ailleurs l'avantage de fournir aisément des puits descendant assez bas dans la nappe, et donnant par suite un fort débit, pourvu que la profondeur totale ne dépasse pas 9 mètres au-dessous de la pompe.

Les armées en campagne peuvent en tirer un excellent parti. Aux États-Unis, on n'a pas hésité à établir des distributions d'eau alimentées au moyen de puits de ce genre reliés entre eux par des conduites générales d'aspiration.

On a quelquefois employé des tubes d'un diamètre supérieur à 6 centimètres ; mais, le débit étant à très peu près indépendant du diamètre, il n'y a pas d'avantage à le faire, d'autant qu'il en résulte une difficulté plus grande d'exécution.

144. Drainages. — Quand on se trouve en présence d'une nappe de peu d'épaisseur où chaque puits donne un débit très faible, et que, pour répondre à certains besoins, il faudrait les multiplier outre mesure, on est conduit à remplacer les puits par des *galeries*, à fond ou parois perméables, qui agissent de la même façon sur la nappe et produisent

l'effet d'une série de puits juxtaposés. Si la nappe est à faible profondeur, les galeries peuvent être remplacées par des *drains*, ou autrement dit par des files de tuyaux à joints perméables, ou même par de simples *pierrées*.

Ce mode de captation des eaux d'une nappe était connu des Romains, et l'on retrouve dans la campagne de Rome des traces très nombreuses des cuniculi au moyen desquels ils l'avaient assainie et alimentée. Perdu sans doute dans la nuit du moyen âge, il a été retrouvé par Bernard Palissy, qui l'a indiqué comme un moyen de créer des *sources artificielles*. Bélidor l'a décrit sous la même désignation : « Quand on veut, « dit-il, avoir beaucoup d'eau, on creuse une tranchée à une profondeur « convenable avec pente suffisante ; on étend sur le fond un lit de terre « glaise bien battue, ensuite on construit deux murs pour former un pe- « tit canal que l'on recouvre avec des pierres plates, et ensuite des ga- « zons renversés pour empêcher qu'en recomblant la fouille, il ne tombe « rien sur le fond. » MM. Ward et Chadwyck ont préconisé en Angleterre l'emploi de ce système, et se sont efforcés de le généraliser, en montrant que le drainage d'une surface suffisamment étendue dans un terrain tant soit peu perméable permet de recueillir une fraction notable des eaux d'infiltration et peut aisément desservir une distribution d'eau.

Un certain nombre de villes anglaises ont eu recours aux drainages pour leur alimentation, notamment Farnham, Rugby, Sandgate, Paisley, Ayr, Kilmarnock, etc. ; mais presque toujours en profitant de circonstances géologiques et topographiques spéciales, qui permettent de recueillir, sur une superficie donnée, les eaux d'infiltration d'une surface beaucoup plus étendue. En effet, le procédé précédemment indiqué pour la création de sources artificielles, suppose l'utilisation d'étendues considérables de terrain ; d'où cette appréciation de M. de Freycinet qu'il est « d'une exécution à peu près impossible sur une grande échelle »[1] ; mais il devient plus praticable quand on s'adresse « non plus à la « surface elle-même qu'il faudrait attaquer en tous ses points, mais à « une couche très perméable contenant en quelque sorte déjà toute for- « mée la nappe qu'il s'agirait précisément de créer par le drainage or- « dinaire ; il suffit dès lors d'attaquer cette couche seulement en certains « points »[2].

La ville de Haguenau est alimentée, depuis 1733, par une conduite souterraine, établie conformément aux indications précitées de Belidor, qui recueille les eaux d'un coteau sablonneux, retenues par un bourrelet argileux ; la distribution d'eau, devenue insuffisante en 1857, a été complétée par un drainage en tuyaux de poterie. Récemment, les villes de Montauban, Limoges, Rennes, Granville, ont été alimentées au moyen

1. *Principes de l'assainissement des villes*, p. 44.
2. *Ib.* p. 45.

des eaux recueillies par le drainage, dans des vallons humides; Bruxelles a eu recours au même procédé pour capter les eaux souterraines du bois de la Cambre et de la forêt de Soignes. Liège a été chercher celles des coteaux de la Hesbaye au moyen de galeries traversant à grande profondeur le terrain houiller et les argiles, à la base du terrain crétacé.

Ailleurs, comme il s'agissait de recueillir le produit de nappes peu étendues dans des vallons étroits à fond imperméable, on a remplacé le drainage par la constitution de véritables réserves souterraines, au moyen de barrages transversaux. Il suffit, en effet, de creuser une tranchée normale à la direction du vallon, jusqu'à la couche imperméable, et d'établir dans cette tranchée un mur ou un corroi d'argile pour former une sorte de cuvette où les eaux s'accumulent et où l'on peut puiser suivant les besoins. Cette méthode a été appliquée à Provins et à Saint-Nazaire.

145. Galeries captantes. — Les nappes les plus largement alimentées se trouvent naturellement au fond des grandes vallées, près des thalwegs, et souvent, par suite, au voisinage des rivières; aussi, est-ce là qu'on est venu placer fréquemment, pour l'alimentation des villes, des galeries de drainage, destinées à fournir des quantités d'eau considérables. Ce sont ces *galeries captantes* qui ont donné lieu à la théorie de la filtration naturelle, dont nous avons montré plus haut l'inexactitude.

Si elles sont très proches du bord, les galeries sont quelquefois alimentées en partie par les eaux de la rivière; mais, même dans ce cas, il suffit de les éloigner un peu pour n'y plus trouver que les eaux de la nappe, reconnaissables à leur composition différente et surtout à la constance de leur température. Rien n'est plus instructif à cet égard que l'histoire des *filtres* de Toulouse, donnée tout au long par d'Aubuisson, dans son livre [1], et résumée dans celui de Dupuit, et celle des galeries et des bassins de filtration de Lyon, par M. Dumont [2]. On y apprend que des galeries, trop rapprochées de la rivière, donnent parfois une eau à température variable, se troublant aisément (2e filtre de Toulouse); que, dans des tranchées découvertes, l'eau est exposée à une altération rapide par l'effet du développement de la végétation (1er filtre de Toulouse); que le débit n'augmente pas avec la surface du radier des galeries (bassins de Lyon), etc. Et l'on est conduit à conclure que, en règle générale, les galeries captantes doivent être longues et étroites, couvertes, tracées transversalement à l'écoulement de la nappe ou, ce qui revient au même, à peu près parallèlement aux rives du cours d'eau, et assez profondes pour qu'on puisse y abaisser le plan d'eau de manière à obtenir une augmentation de débit par l'effet de la charge qui en résulte. Conclusion identique à celle qu'on tirerait de la théorie

1. *Les Fontaines publiques de la ville de Toulouse.*
2. Dumont. *Les eaux de Lyon et de Paris.*

des puits, si l'on considère une galerie comme une suite de puits juxtaposés, et qui justifie cette assimilation.

Les figures ci-dessous représentent les sections des galeries de Toulouse, Angers et Lyon.

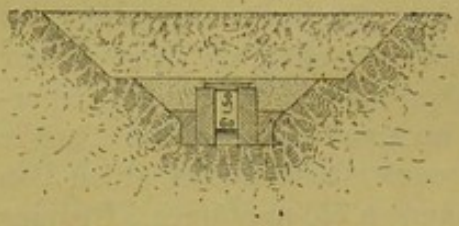


Fig. 24. — Galerie captante de Toulouse.

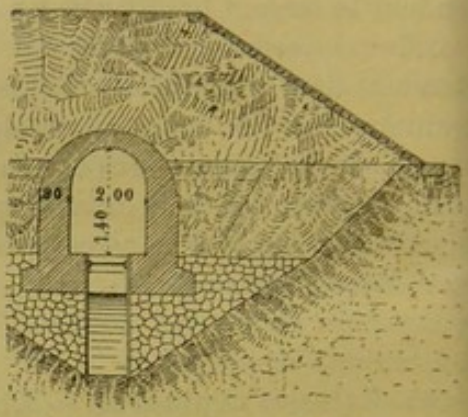


Fig. 25. — Galerie captante d'Angers.

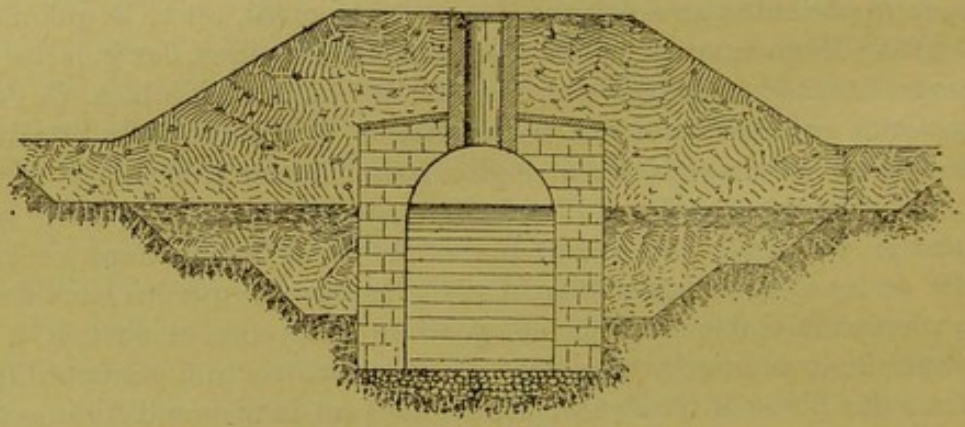


Fig. 26. — Galerie captante de Lyon.

Récemment, pour recueillir l'eau du Tarn ou de la nappe souterraine de la vallée destinée à l'alimentation de la ville d'Albi, on a préféré aux galeries une disposition inspirée par la théorie et certainement plus rationnelle. Des puits de captation ont été descendus à grande profondeur dans le banc de gravier aquifère au moyen de l'air comprimé. La même solution a été appliquée pour l'alimentation de Berlin, sur le bord du lac Tegel, où l'on n'a pas creusé moins de vingt-trois puits profonds répartis sur une longueur de 1.500 mètres autour de l'usine élévatoire, et reliés entre eux par deux conduites maîtresses d'sapiration. Ces puits peuvent être soit ouverts, soit fermés à la

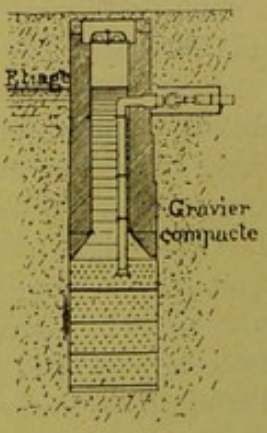


Fig. 27.

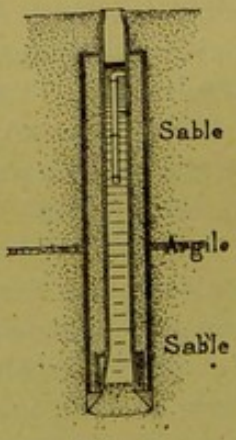


Fig. 28.

partie supérieure, avec ou sans communication avec l'atmosphère.

Quelles que soient les dispositions qu'on ait adoptées, les galeries captantes ont bien souvent donné lieu à des mécomptes : le débit a été, en général, inférieur aux prévisions, quelquefois dès le début, plus fréquemment au bout de quelques années. Le cas s'est présenté à Toulouse, Lyon et Angers, à Magdebourg, Vienne, Glasgow, etc. On conçoit, en effet, que l'abaissement du plan d'eau, résultant des épuisements, détermine l'entraînement des sables qui, peu à peu, viennent obstruer les petits conduits naturels par où l'eau afflue ; il se produit une sorte de *colmatage*, et le seul remède consiste à prolonger les galeries à grands frais. A Lyon, le débit s'est trouvé tellement réduit en temps de basses eaux, malgré toutes les améliorations successivement apportées aux galeries, qu'il a fallu y introduire directement l'eau du Rhône, c'est-à-dire renoncer précisément aux avantages que l'on avait cherché à obtenir par la création des galeries, si bien qu'après les avoir prônées avec enthousiasme, on a été amené à rechercher un autre mode d'alimentation.

Il faut en conclure que le système des galeries captantes peut rendre de bons services dans des cas spécialement favorables, mais n'est pas susceptible d'applications aussi générales qu'on pourrait le croire au premier abord. Les principales conditions du succès sont le choix du terrain qui doit être très perméable, plutôt graveleux que de sable fin, mais point vaseux, puis l'abondante alimentation et la grande épaisseur de la nappe. Pour obtenir la permanence du débit, il faut éviter de faire des épuisements exagérés, d'augmenter outre mesure la charge et, par suite, la vitesse d'écoulement de l'eau ; pour conserver la limpidité, il est indispensable de protéger les galeries contre l'infiltration des eaux pluviales, ce que l'on n'obtient pas toujours par un gazonnement, et surtout empêcher la submersion par les crues de la rivière.

b. *Nappes inférieures.*

146. Puits profonds ou galeries. — Pour utiliser l'eau de la seconde ou de la troisième nappe que l'on rencontre à partir de la surface du sol, il faut nécessairement traverser une ou deux couches aquifères, et le système de construction des puits ordinaires n'est plus applicable en général.

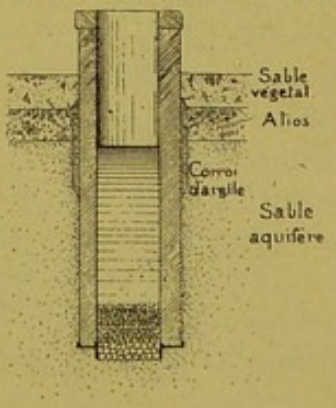


Fig. 29.

Cependant, il est des cas particuliers où l'on peut y recourir encore. Ainsi, dans les Landes, où la couche perméable supérieure et la couche imperméable sous-jacente (*alios*) ont de très faibles épaisseurs et où la première nappe est peu abondante, le travail se fait aisément, et il suffit d'un bourrelet d'argile entourant extérieurement le revêtement maçonné pour empêcher toute communication entre les deux nappes.

Les puits instantanés peuvent être utilisés avec avantage pour traverser une première couche aquifère et descendre jusqu'à une couche inférieure; mais ils ne sauraient, sans modification, atteindre de grandes profondeurs, car il arrive un moment où le frottement latéral s'oppose à la descente, où il y a *refus*, comme dans le fonçage des pieux. Pour aller plus loin, on est obligé d'employer un tube de plus fort diamètre, dans lequel on en introduit un second plus étroit, lorsqu'on est parvenu au refus ; puis un troisième, etc., en ayant soin de donner au dernier une dimension suffisante pour qu'on puisse y descendre la pompe à la profondeur convenable.

Parfois des circonstances topographiques particulières permettent d'aller chercher l'eau de nappes profondes au moyen de galeries, horizontales ou faiblement inclinées, percées à travers les couches inférieures : M. Nichols cite le cas de la ville de Dubuque (Iowa, États-Unis) alimentée par une galerie de ce genre qui n'a pas moins d'un mille de longueur. Les nappes discontinues, composées de filets d'eau distincts, s'écoulant à travers les fissures de la couche aquifère, se prêtent bien à ce mode de captation.

147. Forages. — Hors ces cas spéciaux, assez rares en somme, c'est à des *forages* qu'il faut recourir, c'est-à-dire à l'emploi de la sonde. La sonde a été connue et employée dès l'antiquité, en Chine; l'outil y était simplement suspendu au bout d'une corde ; dans les travaux modernes, il forme l'extrémité inférieure d'une longue tige rigide en fer, composée de barres successives vissées les unes aux autres.

On commence par descendre un puits ordinaire jusqu'au niveau de la première nappe; à partir de ce point, on continue par un *puits foré* qui est *tubé* ou non, suivant la consistance des terrains traversés.

Les procédés perfectionnés de forage, couramment appliqués aujourd'hui, permettent d'atteindre des profondeurs considérables avec des diamètres qui peuvent s'élever jusqu'à un et même plusieurs mètres. Un revêtement ou tubage est presque toujours indispensable; quelquefois en bois, en cuivre, en fonte, il s'exécute le plus souvent en tôle; les tubes sont assemblés, successivement, les uns au bout des autres, et descendent tous ensemble à la suite de la sonde, jusqu'au moment où la colonne s'arrête, refusant de continuer la descente sous l'effet de son poids augmenté de la surcharge, ou même sous l'effort de presses hydrauliques; une nouvelle série de tubes de diamètre moindre est introduite alors à l'intérieur de la première colonne et descendue à l'aide d'un outil plus petit; puis une troisième série, et ainsi de suite, de sorte que le

Fig. 30.

puits va en se rétrécissant et que le tubage se compose d'une série d'anneaux dont la disposition d'ensemble rappelle celle d'une lunette d'approche. Aussi convient-il de commencer toujours par un assez grand diamètre pour un puits qui doit descendre à une profondeur notable, si l'on ne veut pas s'exposer à finir par un tube trop étroit ; le débit, il est vrai, est théoriquement indépendant du diamètre, mais il pourrait en résulter une gêne pour l'installation des engins élévatoires.

Dix-huit puits, descendus à grande profondeur dans la craie et desservis par de puissantes machines à vapeur, alimentent certains quartiers de Londres.

c. *Nappes artésiennes.*

148. Puits artésiens. — Parmi les nappes profondes auxquelles on peut recourir pour l'alimentation, on recherche de préférence les nappes artésiennes, qui ont l'avantage de fournir des eaux jaillissantes et permettent par suite d'éviter ou tout au moins de réduire les frais d'élévation.

Le percement des *puits artésiens* s'exécute comme les autres forages, jusqu'au moment où la sonde traverse la couche imperméable au-dessous de laquelle se trouve l'eau en pression ; tout à coup elle jaillit et s'élève dans le puits, parvient quelquefois jusqu'au niveau du sol, et parfois même le dépasse.

Ces puits, connus des Chinois depuis fort longtemps, n'ont paru en Europe qu'au XII[e] siècle, dans le comté d'Artois ; celui de Calais remonte à cette époque. Ils ne se sont guère répandus, d'ailleurs, que depuis les progrès considérables réalisés au commencement du siècle actuel dans l'art du sondeur. Très nombreux aujourd'hui, ils sont utilisés surtout pour l'alimentation de grandes usines, brasseries, raffineries, etc., ou d'établissements publics, hôpitaux, etc. Un certain nombre de villes y ont eu recours également pour leur alimentation : le puits de Grenelle, universellement connu comme le premier exemple de puits artésiens à grande profondeur, a été creusé à Paris de 1833 à 1852 ; le puits de Passy a été établi ensuite, et deux autres puits ont été entrepris à la place Hébert et à la Butte-aux-Cailles ; de 1830 à 1837, on a creusé à Tours, 11 puits de 112 à 170 mètres de profondeur ; 17 puits à Venise, de 1847 à 1856 ; etc., etc. Charleston (États-Unis) compte de nombreux puits artésiens de 20 à 400 mètres de profondeur. Dans la province de Constantine, en Algérie, plus de 400 puits, de 85 mètres de profondeur en moyenne, dont 158 jaillissants, ont été creusés pendant la période 1856-1878.

Ces puits rendent incontestablement de grands services, et méritent d'être recommandés pour l'alimentation d'établissements isolés ou de contrées déshéritées, comme le voisinage du Sahara. Pour les villes,

l'aléa, inséparable de la recherche des eaux artésiennes, la qualité

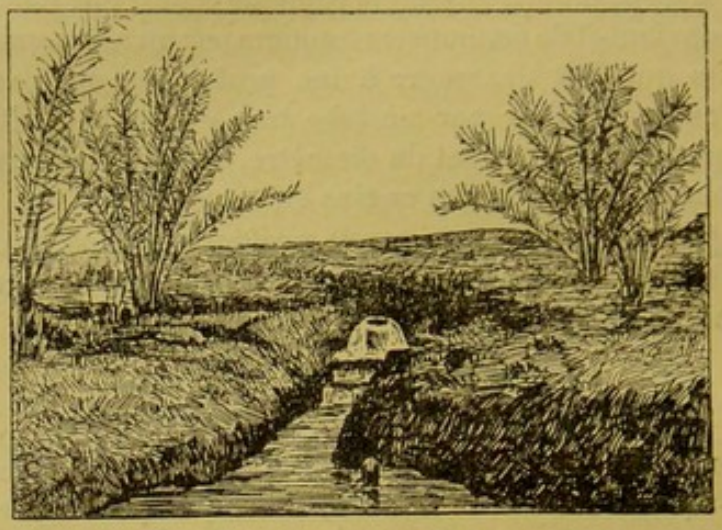


Fig. 31. — Puits artésien dans une oasis du Sahara.

souvent médiocre de ces eaux, leur température élevée, l'abaissement progressif du débit, fréquemment observé, et notamment à Tours, Venise, etc., sont autant de circonstances qui en ont diminué la vogue.

149. Débit des puits artésiens. — Darcy et Dupuit ont établi la théorie des puits artésiens et formulé les lois qui en régissent le débit : leurs ouvrages[1] contiennent à ce sujet des détails très complets et très intéressants.

Darcy distingue deux cas, suivant que le débit du puits est faible comparativement à l'alimentation de la nappe, ou qu'il atteint une fraction notable de cette alimentation.

Le *niveau piézométrique*, autrement dit le niveau auquel l'eau jaillissante s'élèverait dans un tube indéfini sans écoulement, reste constant dans le premier cas, et varie dans le second avec le débit.

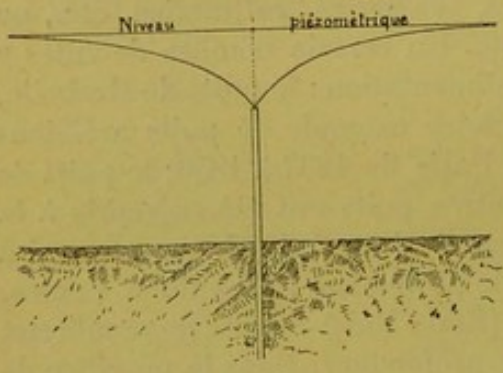


Fig. 32.

Dans le premier cas, la loi de l'écoulement est celle même qui s'appliquerait à un puits ordinaire établi dans une nappe dont le niveau supérieur serait le niveau piézométrique de la nappe artésienne; le débit est indépendant du diamètre du puits artésien, ou du moins il varie très peu avec ce diamètre, tant qu'il n'y a pas à tenir compte de la perte de charge résultant du frottement de l'eau dans le tubage.

1. Darcy. *Les Eaux publiques de la ville de Dijon.* — Dupuit. *Traité de la conduite et de la distribution des eaux.*

Dans le second cas, plus le débit augmente, plus le niveau piézométrique s'abaisse, parce que l'accroissement de débit entraîne une augmentation de frottement dans les canaux naturels qui alimentent le puits.

Si l'on emprisonne l'eau jaillissante dans un tube indéfini et qu'on coupe ce tube à diverses hauteurs, on trouve, dans le second cas, des débits variables sans proportionnalité avec les hauteurs. Dans le premier cas, au contraire, cette proportionnalité existe ; de telle sorte qu'il suffit de connaître les débits à deux niveaux donnés pour en déduire le niveau piézométrique de la nappe (*fig.* 33).

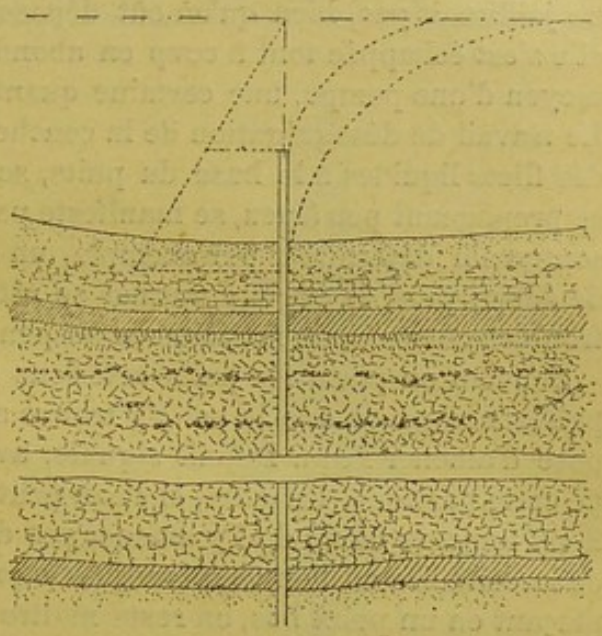


Fig. 33.

De ces règles fort simples, il semble résulter qu'il serait facile de distinguer, dans chaque cas, si la nappe aquifère est très largement ou faiblement alimentée ; mais des causes multiples de perturbation interviennent, et modifient souvent les faits au point de s'opposer à toute vérification de la théorie. Les plus fréquentes sont le frottement exagéré dans le tube ascensionnel, les pertes en route par les joints du tubage ou dans l'intervalle annulaire entre le tubage et le trou de sonde, l'absorption par les couches perméables, etc.

Le débit d'un puits artésien, étant complètement déterminé par sa position, la hauteur du tube ascensionnel et la charge, est absolument indépendant de l'alimentation de la nappe : par suite, tel puits aura un débit très faible, bien qu'alimenté par une nappe très abondante, et tel autre un débit considérable fourni par une nappe mal alimentée. Il peut donc arriver que le débit dépasse l'alimentation totale de la nappe, auquel cas celle-ci s'épuisera peu à peu ; le niveau piézométrique s'abaissera d'une façon continue, et le débit lui-même ira en diminuant jusqu'à cessation complète de l'écoulement.

Le même effet peut résulter du percement de plusieurs puits dans la même nappe : à Tours, à Venise, on a observé plus d'un fait de ce genre. Le puits de Passy, bien qu'à trois kilomètres du puits de Grenelle, y a provoqué une diminution du débit qui ne peut évidemment s'expliquer par une insuffisance d'alimentation, puisque la nappe correspondante reçoit les infiltrations d'une surface de 300 kilomètres de développement et 20 kilomètres de largeur moyenne : c'est que la distance n'était pas suffisante et qu'il y a eu intersection des cônes d'action des deux puits.

150. Particularités diverses. — Il paraît se former, en général, une poche à la base de chaque colonne artésienne : c'est ainsi que les premières eaux fournies par le puits de Grenelle ont entraîné une énorme quantité de sables. Quelquefois même l'écoulement ne se produit qu'après la formation de cette poche, comme si elle en était la condition nécessaire; tel a été le cas d'un puits creusé à Saint-Denis en 1830, où l'eau ne jaillissait pas, bien qu'on eût dépassé le niveau de la nappe, et d'où elle s'est échappée tout à coup en abondance après qu'on eût retiré, au moyen d'une pompe, une certaine quantité d'eau très chargée de sable. Le travail de désagrégation de la couche aquifère, qui résulte de l'afflux des filets liquides à la base du puits, se continue parfois longtemps, et, se propageant peu à peu, se manifeste par des accidents; un éboulement souterrain détermine, par exemple, un arrêt ou une simple réduction de débit; puis, le régime normal se rétablit, après l'évacuation d'eaux troubles chargées de matières en suspension.

Souvent on place les puits artésiens en des points hauts, choisis de préférence parce que le sol s'y trouve au niveau même où l'on se propose d'amener l'eau. Dupuit signale, avec raison, l'inconvénient grave de cette pratique. En effet, si l'eau peut s'élever au niveau convenable, il est toujours facile de l'y amener par des conduites, et rien n'empêche de la conduire où l'on veut lorsqu'elle jaillit au-dessus du sol : or, en se plaçant en un point bas, on reste maître de couper la colonne ascensionnelle en tel ou tel point de sa hauteur et de faire varier le débit dans certaines proportions, tout en diminuant notablement la dépense. Au contraire, quand on commet la faute d'entreprendre le percement en un point haut, on augmente beaucoup les frais et l'on perd en même temps l'avantage précité. C'est ce qui est arrivé pour le puits de Passy : il eût tout aussi bien réussi, sans aucun doute, au bois de Boulogne, là même où l'on en devait utiliser le produit, et il aurait coûté notablement moins.

151. Mode d'exécution. — Primitivement, on creusait les puits artésiens comme les puits ordinaires jusqu'à la couche imperméable recouvrant la nappe jaillissante; à partir de ce moment, on effectuait le percement avec les plus grandes précautions, et lorsque l'eau commençait à jaillir, ou plutôt qu'un premier filet d'eau apparaissait, les ouvriers se sauvaient au plus vite. Ce procédé n'était pas sans danger; il n'est d'ailleurs applicable que lorsqu'il n'y a pas de nappes supérieures.

La sonde, manœuvrée du haut, supprime tout danger, et les perfectionnements apportés à cet engin n'ont pas moins contribué que les progrès de la géologie à répandre l'usage des puits artésiens; lorsqu'on a été en mesure de déterminer approximativement d'avance la position des nappes jaillissantes, et qu'un outillage très complet a permis d'entreprendre les percements les plus difficiles, on n'a plus hésité à entrer largement dans une voie qui semblait pleine de promesses.

Bien que, dans le cas le plus général, celui où le débit du puits est très faible par rapport à l'alimentation de la nappe, il n'y ait guère d'intérêt à augmenter le diamètre du puits, la tendance pratique a été de le faire néanmoins, malgré l'augmentation du poids des outils et des tubages et l'excédent de dépenses qui en résulte, surtout à cause des facilités que les grands diamètres offrent pour l'exécution du travail et la réparation des accidents.

152. Grands puits artésiens de Paris. — Un exemple classique, maintes fois cité, est fourni par le puits de Grenelle, commencé à Paris en 1833 et qui n'a été terminé qu'en 1852, bien que l'eau y ait jailli dès 1841. Les incidents qui se sont produits pendant le percement ont été des plus instructifs : la sonde s'était brisée à 115 mètres de profondeur, il a fallu créer un outillage spécial pour la retirer du puits ; les tuyaux en cuivre de $0^m,003$ d'épaisseur s'écrasant, on dut les remplacer par des tuyaux en tôle ; le forage s'écartant de la verticale, force fut de le reprendre en perçant le premier tube et le faisant traverser par le nouveau. Enfin la dernière colonne, de $0^m,17$ de diamètre, est parvenue à une profondeur de 549 mètres dans les sables verts au-dessous du gault, après avoir traversé les terrains tertiaires et la craie. L'eau s'élève à 38 mètres au-dessus du sol, dans une conduite logée à l'intérieur d'un édifice érigé sur la place Breteuil, à quelque distance du puits, qui est situé dans la cour de l'abattoir de Grenelle.

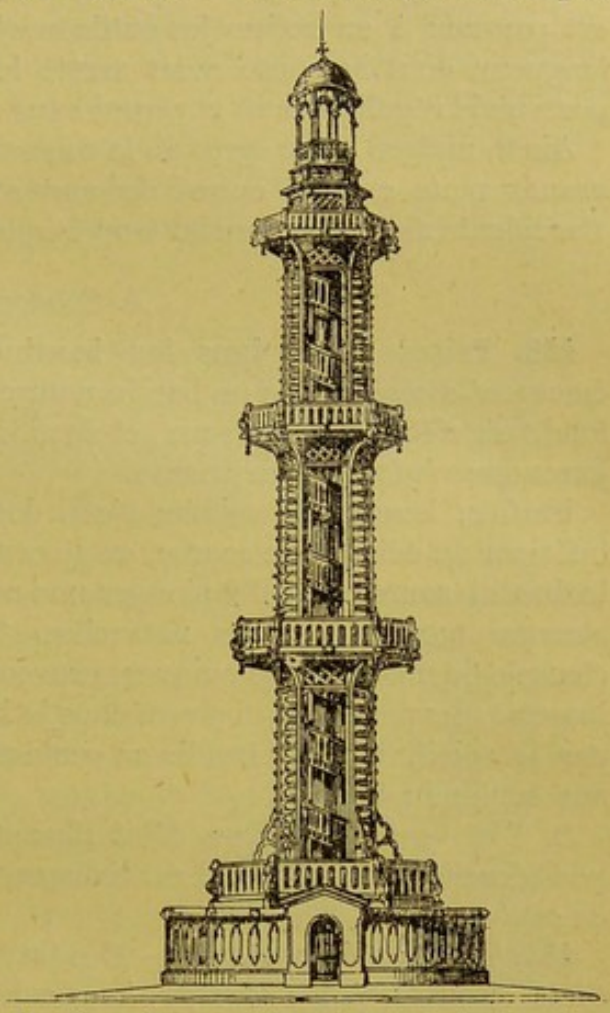


Fig. 34. — Monument du puits artésien de Grenelle.

Le puits de Passy, terminé en 1861, a été descendu aussi dans les sables verts, à une profondeur de 586^m50, mais dans une nappe inférieure à celle de Grenelle. Le cuvelage, en bois et de $0^m,80$ de diamètre jusqu'à 550 mètres, a été continué par un tubage en tôle de $0^m,70$ de diamètre et $0^m,02$ d'épaisseur. L'eau débouche au niveau du sol dans un bassin situé place Victor-Hugo.

Les deux autres puits, entrepris pour l'alimentation de Paris, oc-

cupent deux sommets d'un triangle équilatéral dont le puits de Passy formerait le troisième, l'un au sud, près de la barrière Fontainebleau, l'autre au nord, à la Chapelle. Le premier commence par un puits ordinaire de 80 mètres de hauteur, suivi d'un forage de $1^{m},20$ de diamètre ; le second est un forage de $1^{m}50$ de diamètre commençant au fond d'un puits ordinaire de $34^{m},40$ de profondeur. Tous deux ont été arrêtés au cours du percement par suite d'accidents. Après une assez longue interruption, les travaux ont été repris dans le second de ces puits; on est parvenu à en retirer les outils brisés et le tubage de 100 mètres de longueur dont la chute avait arrêté le chantier ; ils sont maintenant poursuivis régulièrement et seront sans doute bientôt achevés.

Ainsi, malgré les progrès de la science et de l'outillage modernes, les grands puits exigent encore des années de travail et restent à la merci d'accidents malheureusement trop fréquents.

d. *Sources.*

153. Prises d'eau dans les bassins sourciers. — Les sources émergent souvent dans un bassin naturel, plus ou moins étendu ou profond, où s'étalent leurs eaux, et dans lequel se développe presque toujours une végétation luxuriante.

Parfois, lorsque le volume d'eau dont on a besoin est de beaucoup inférieur au débit de la source, on se contente de faire une saignée dans le bassin sourcier ou d'y plonger une conduite de prise d'eau sans rien changer aux dispositions naturelles. Cette pratique donne de l'eau chargée de matières organiques, provenant des plantes aquatiques, des insectes, des poissons qui vivent dans le bassin sourcier, tantôt échauffée par le soleil, tantôt refroidie au contact de l'air froid, toujours exposée aux contaminations.

Si l'on veut obtenir un débit plus considérable, une eau plus pure, une sécurité plus grande, il est indispensable de procéder à des *travaux de captage*.

154. Travaux de captage. — Ces travaux consistent à rechercher les filets naturels, à les dégager, à les suivre, et à en recueillir le produit. S'ils sont peu abondants, un simple *drain* suffit ; s'ils fournissent un plus grand volume d'eau, on construit une *galerie ;* on a recours à une *chambre* pour la captation d'un groupe naturel de sources ou pour rassembler les apports d'une série de drains ou de galeries.

Lorsque la source s'échappe d'une couche rocheuse, on y pratique des conduits souterrains ; si elle émerge d'un coteau, on établit un drain suivant une des horizontales du terrain, ou une galerie avec paroi imperméable du côté du vallon et perméable au contraire vers le coteau; si elle sourd en jets verticaux de la profondeur du sol, on emprisonne les *bouillonnements* dans des galeries ou des chambres maçonnées sans radier, qu'il est avantageux de fermer et de couvrir ; si elle s'épand dans

le sol et se perd en ruisselets sur une grande surface, on la draine au moyen de conduits perméables.

Souvent, afin d'augmenter le débit, on détermine un abaissement du plan d'eau, de manière que l'écoulement se produise sous une charge plus grande ; mais il faut apporter la plus grande réserve dans toute modification de ce genre, car il peut en résulter, à la suite d'une augmentation momentanée du volume d'eau, un appauvrissement permanent de la réserve naturelle qui alimente la source. Quelquefois, par suite de circonstances spéciales, on peut être amené à relever au contraire le plan d'eau ; il faut s'attendre alors à une diminution certaine du débit, tant à cause de l'augmentation de la charge sur les orifices naturels que par suite d'infiltrations nouvelles à travers des couches perméables que l'eau ne pouvait antérieurement atteindre.

155. Ouvrages de captation. — Dans tous les pays, et dès les temps

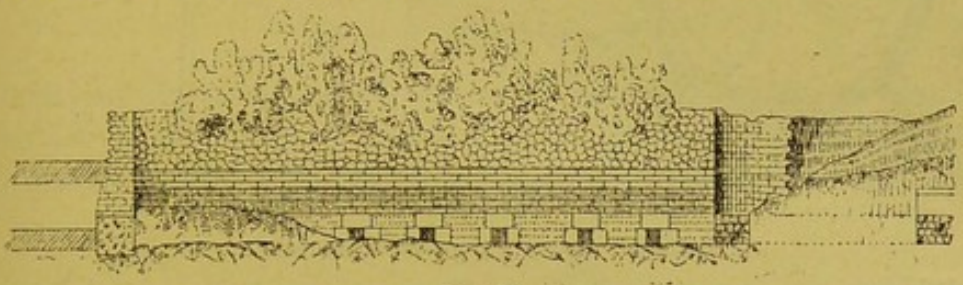


Fig. 35.

les plus reculés, des ouvrages ont été établis pour la captation des sources. Les Romains, qui ont fait tant de travaux d'adduction d'eaux de sources, paraissent avoir été fort habiles à les capter. Comme exemple des procédés employés par eux, nous donnons, dans la figure ci-dessus, le dessin relevé par Belgrand, lors de la captation de la source de Noé dans la vallée de la Vanne. Il représente les restes des ouvrages qui avaient servi à recueillir les eaux de cette source à l'époque romaine, lorsqu'elle servait avec plusieurs autres à l'alimentation de Sens ; on y aperçoit les drains ou *griffons* qui amenaient les filets d'eau dans un bassin découvert en maçonnerie, où le plan d'eau paraît avoir été artificiellement relevé, sans doute en vue d'une augmentation de la pente dans l'aqueduc.

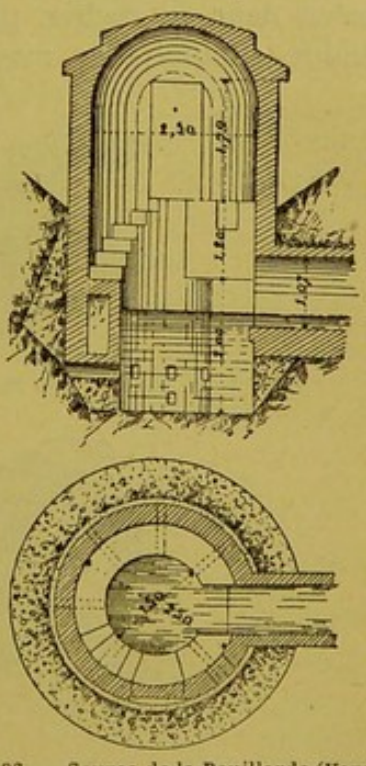


Fig. 36. — Source de la Bouillarde (Vanne).

Les beaux travaux de Belgrand, pour la captation si complexe des sources de la Vanne, méritent d'être cités comme types des procédés em-

ployés à notre époque ; presque tous les cas s'y sont présentés. La source de la Bouillarde a été simplement enfermée dans une chambre

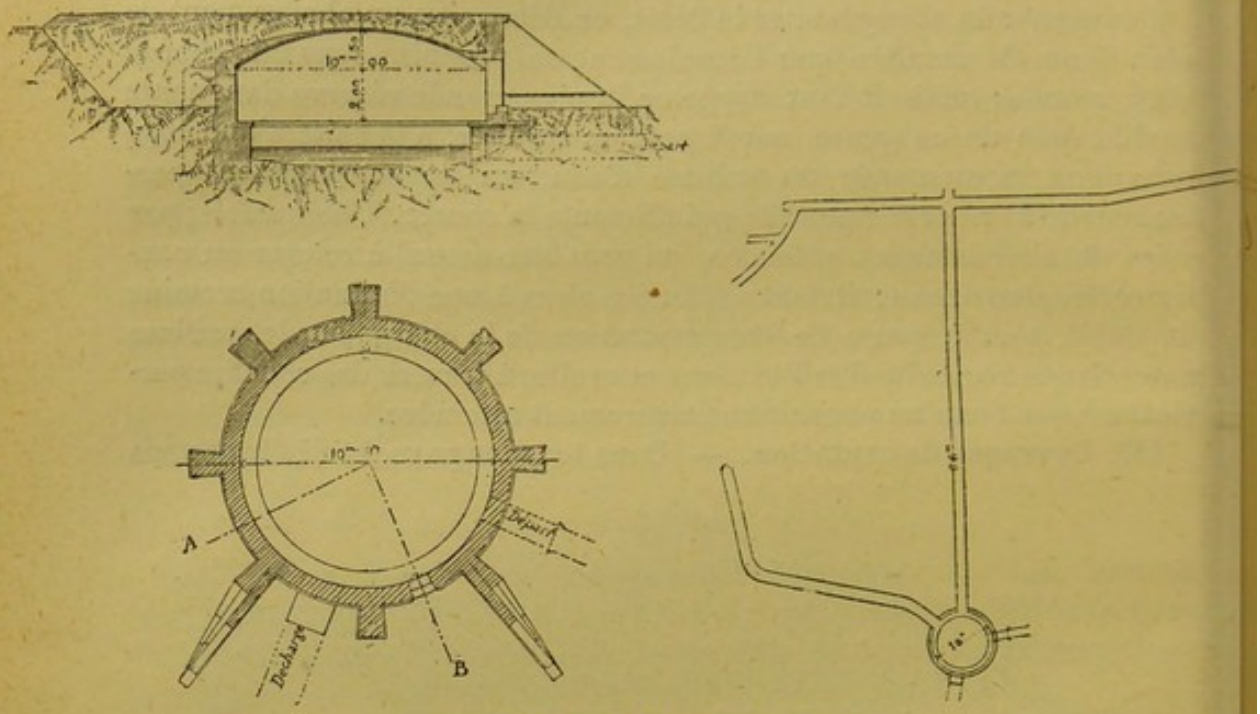


FIG. 37. — Source d'Armentières (Vanne).

circulaire en maçonnerie recouverte d'une voûte sphérique. A la source d'Armentières, des galeries souterraines de recherches ont dû être percées dans le rocher pour amener tous les filets d'eau dans une chambre circulaire en maçonnerie recouverte d'une voûte sphérique.

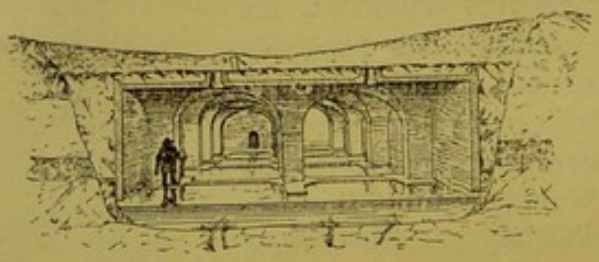


FIG. 38. — Source de Cérilly (Vanne).

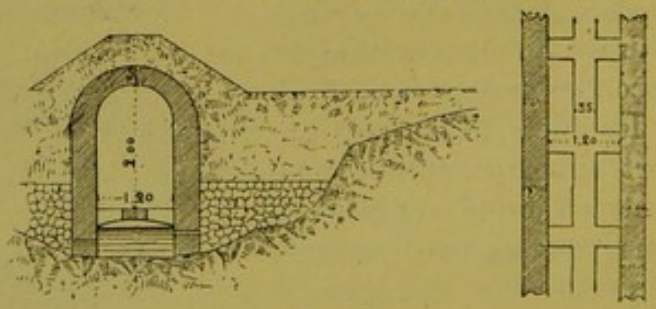


FIG. 39.

Celle de Cerilly, qui formait un bassin naturel ou *bîme*, étendu et profond, réunit aujourd'hui ses eaux dans une vaste chambre maçonnée et

voûtée, construite à l'emplacement du bassin et après abaissement du plan d'eau. De nombreuses galeries maçonnées et couvertes, mais sans radier, où de petites voûtes extrêmement légères servent à la fois à la circulation et au maintien de l'écartement des piédroits, ont été employées pour recueillir les eaux des sources de Saint-Philbert, de Saint-Marcouf, du Miroir, de Noé, etc. Des drains composés de filés de tuyaux en béton de ciment moulé, d'un type analogue à celui que le même ingénieur avait appliqué avec tant de succès à l'alimentation d'Avallon, ont servi à la captation des sources des Pâtures, du Maroy, etc.

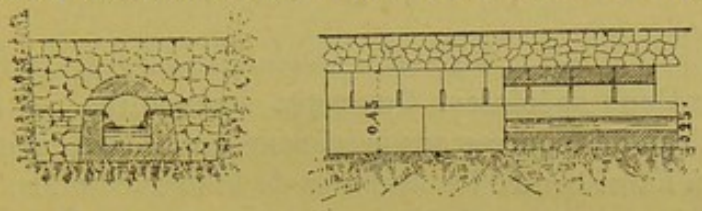


Fig. 40. — Drain d'Avallon.

Il convient de citer encore, parmi les ouvrages récents les plus remarquables en ce genre : les prises d'eau de la ville de Lille, dues à M. Masquelez, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et notamment

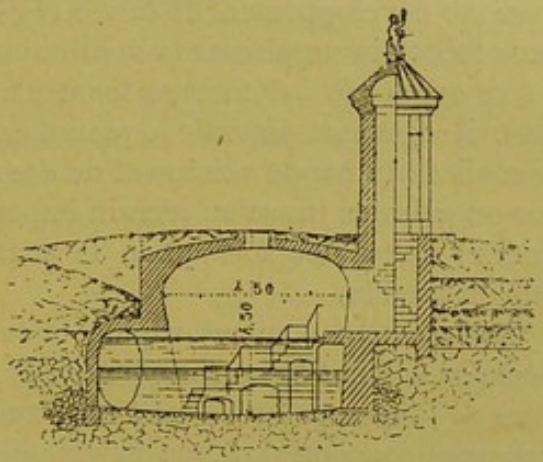


Fig. 41. — Source de Guermanez (Lille).

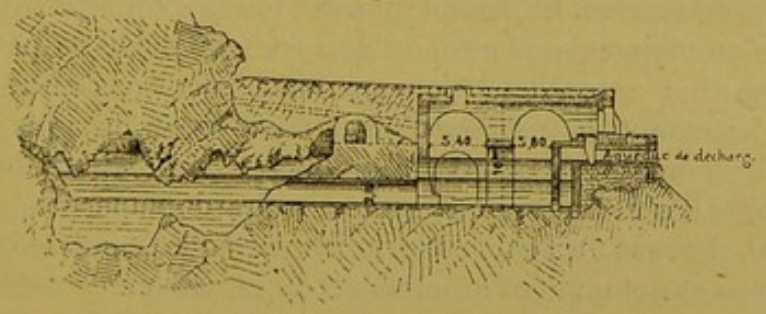


Fig. 42. — Source de Kaiserbrunn (Vienne).

l'ouvrage de captation de la source de Guermanez ; les galeries percées dans le roc dur et les chambres maçonnées où débouchent les belles

sources qui alimentent la dérivation dite *Hochquellenwasserleitung* pour la distribution des eaux de Vienne.

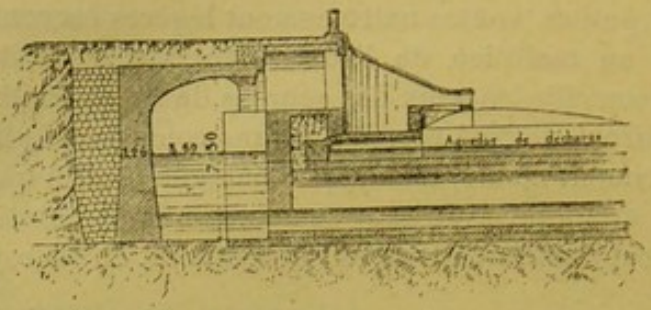


Fig. 43. — Source de Stixenstein (Vienne).

156. Précautions spéciales. Ouvrages accessoires. — Si l'on veut conserver à l'eau des sources ses précieuses qualités, il est indispensable de la mettre à l'abri contre les atteintes de la malveillance, contre toute tentative de détournement, de les protéger contre les diverses causes de contamination et notamment contre l'afflux des eaux de superficie, l'invasion des matières organiques ou des vases, etc. A cet effet, les ouvrages de captation doivent être toujours parfaitement clos et couverts, de manière à empêcher l'introduction directe des insectes et autres animaux, et de s'opposer au développement de la vie végétale incompatible avec l'obscurité, sans toutefois supprimer la ventilation ; des rigoles ou des fossés doivent être employés à détourner les eaux superficielles, et, pour plus de sûreté, il convient de tenir le plan d'eau des sources un peu au-dessus de celui de la nappe voisine et de descendre les maçonneries des chambres ou galeries jusqu'au terrain imperméable. Enfin, il est prudent d'acquérir, toutes les fois qu'on le peut, un *périmètre de protection* suffisamment étendu.

Pour combattre *l'envasement* souvent rapide et toujours inévitable, des dispositions spéciales doivent être prises pour des nettoyages périodiques ; les *décharges de fond* sont utiles pour effectuer ces nettoyages. Lorsque plusieurs sources concourent à une même alimentation, il faut les rendre indépendantes afin de pouvoir les visiter successivement sans interruption de service. Et comme, malgré tous les soins, il se produit des dépôts plus ou moins abondants, on doit recommander de placer le départ de l'aqueduc assez haut pour qu'ils ne soient pas entraînés, sans atteindre cependant la surface dont il faut éviter aussi les impuretés. Souvent aussi, on a recours à des *chambres* ou *puisards de désablement*.

Les sections des drains, galeries, déversoirs de superficie, décharges de fond, etc, doivent être calculées de manière que le service soit assuré en tout temps et notamment au moment du maximum de débit.

Il est bon de compléter la captation d'une source quelconque par l'installation d'un appareil de jaugeage, cuve, vannage ou déversoir, disposé de telle sorte que l'emploi en soit toujours facile, et n'exige qu'un temps fort court et des opérations extrêmement simples.

CHAPITRE VIII

PROCÉDÉS EMPLOYÉS

POUR

L'AMÉLIORATION DES EAUX NATURELLES

Sommaire :

§ 1er. *Considérations générales.* — 157. On ne doit recourir à ces procédés qu'en cas de nécessité absolue. — 158. Procédés mécaniques. — 159. Procédés physiques. — 160. Procédés chimiques. — 161. Procédés mixtes.
§ 2. *Décantation ou clarification par le repos.* — 162. Son utilité. — 163. Ses inconvénients. — 164. Bassins de dépôt.
§ 3. *Filtration artificielle des grandes masses d'eau.* — 165. Filtres à sable. — 166. Théorie de la filtration. Précautions spéciales. — 167. Inconvénients. — 168. Autres procédés.
§ 4. *Filtration industrielle et domestique.* — 169. Le filtrage dans l'industrie. — 170. Le filtrage domestique. — 171. Réservoirs-filtres. — 172. Appareils de filtrage à basse pression. — 173. Appareils de filtrage à haute pression.

§ 1er.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

157. On ne doit recourir à ces procédés qu'en cas de nécessité absolue. — En principe, l'eau destinée à l'alimentation d'une ville doit être naturellement pure et salubre, de manière à pouvoir être absorbée sans préparation aucune : il ne peut y avoir de doute sur ce point ; la préférence instinctive des populations en fait foi.

Et, en effet, quelque perfectionnés que puissent être les procédés employés pour l'amélioration de l'eau, ils reposent toujours sur des conceptions théoriques plus ou moins justifiées, et ne satisfont pas assez complètement l'esprit pour inspirer une confiance absolue. Sans doute on dispose actuellement de procédés si parfaits pour débarrasser l'eau des matières étrangères dont elle est chargée, que l'eau d'égout la plus infecte, l'urine, l'eau chargée de sels de plomb ou de cuivre, etc, semble pouvoir être transformée en eau presque pure chimiquement, et où le microscope ne décèle plus la présence d'un seul microbe ; et cependant

à qui persuadera-t-on qu'il vaut mieux boire cette eau qu'une eau de source limpide et fraîche, où les savants auront néanmoins signalé la présence de quelques milligrammes de sels et d'un petit nombre d'organismes microscopiques ? Jamais on ne songera sans doute à distribuer pour l'alimentation d'une ville de l'eau d'égout filtrée !

« Une eau qui a besoin d'être filtrée, dit le docteur Vallin, est une « eau qu'on n'aurait jamais dû songer à amener dans un service public : « c'est une dépense ruineuse et l'on n'obtient que des résultats illusoires. « La filtration est un pis-aller dans des circonstances accidentelles et « malheureuses, c'est un moyen d'attendre qu'on ait réussi à se procurer « une eau très pure qui, celle-là, n'ait pas besoin d'être filtrée. Com- « mençons donc par filtrer plus sérieusement que par le passé les eaux « suspectes, mais n'oublions pas que le véritable progrès serait la sup- « pression des filtres [1]. »

Il faut néanmoins recourir aux procédés artificiels d'amélioration de l'eau quand on se trouve dans l'impossibilité de se procurer de l'eau naturellement pure, soit qu'il n'y en ait pas à proximité, soit que la dépense à faire pour la chercher au loin dépasse de beaucoup les ressources disponibles. Des habitations isolées, des établissements publics ou industriels créés dans des régions mal alimentées, des armées en campagne dans des pays malsains, des villes aussi, peu favorisées par la nature, trouvent parfois dans ces procédés une ressource précieuse.

Mais, on ne doit pas l'oublier, ils ne sont efficaces qu'à la condition d'être employés avec des soins extrêmes et assidus, et supposent une attention constante et des dépenses sérieuses ; mal appliqués ou sans les soins indispensables, ils deviennent trop souvent plus dangereux qu'utiles, gâtant l'eau au lieu de l'améliorer.

158. Procédés mécaniques. — Les divers procédés d'amélioration de l'eau reproduisent artificiellement les moyens de purification employés par la nature elle-même. Ils peuvent être classés en quatre catégories :

1° Procédés mécaniques ; 2° procédés physiques ; 3° procédés chimiques ; 4° procédés mixtes.

Ceux de la première catégorie se réduisent à trois : l'*agitation*, la *décantation* et la *filtration*.

L'*agitation*, qui peut être obtenue par la chute de l'eau sur des moellons ou des branchages, et qui a pour effet de la diviser en minces filets offrant une grande surface à l'action de l'air, produit très rapidement l'aération de l'eau. Belgrand a démontré, par des expériences faites à l'aqueduc d'Arcueil, qu'elle a en outre la propriété de débarrasser les eaux incrustantes d'une partie du carbonate de chaux en excès, et il en a fait lui-même une application pour cet objet à la dérivation de la Dhuis.

1. *Revue d'hygiène.* Juin 1886.

La *décantation* débarrasse l'eau des matières en suspension, des *troubles*, par le repos plus ou moins prolongé dans des bassins de clarification : ces matières, d'un poids spécifique généralement supérieur à celui de l'eau, entraînées par l'effet de l'écoulement, se séparent et se déposent dès que l'écoulement a cessé. La décantation se produit dans les lacs et les étangs, où l'eau est immobile, et qui jouent le rôle de bassins naturels de dépôt. C'est précisément en cela qu'ils présentent un avantage sur les cours d'eau. Ce procédé ne peut débarrasser l'eau des matières légères ou flottantes ; aussi n'y a-t-on ordinairement recours que pour un premier dégrossissage qui précède souvent la *filtration*.

Cette dernière opération consiste dans le passage de l'eau à travers un corps poreux, qui retient d'autant mieux les impuretés solides que les pores en sont plus fins. Un grand nombre de matières ont été employées ou préconisées pour le filtrage des eaux; en première ligne, vient le *sable graveleux*, qui est la base du système anglais si répandu et appliqué sur une vaste échelle dans bien des pays, puis la *pierre poreuse*, la *terre cuite*, les *éponges*, la *laine tontisse*, le *feutre*, la *laine de scories*, le *charbon* végétal ou animal, le *coke* pulvérisé, l'*amiante*, l'*éponge de fer*, etc. Récemment, il a été fait des expériences sur la purification de l'eau par projection d'une matière filtrante pulvérisée, et agitation de l'eau en présence de cette matière (Frankland); c'est une modification du procédé ordinaire dont on a fait une première application avec le fer spongieux.

159. Procédés physiques. — Parmi les agents physiques, la *chaleur* est le plus fréquemment employé pour la purification de l'eau, par *ébullition*, par *distillation* ou par *congélation*.

L'*ébullition* a pour effet de chasser les gaz dissous, de détruire certains composés peu stables, comme le bicarbonate de chaux, de déterminer la précipitation de quelques matières, telles que l'oxyde de fer et l'argile. Elle détruit aussi un grand nombre d'organismes microscopiques; mais des expériences récentes montrent que certains germes résistent à la température de 100°; ce n'est donc pas, comme on l'a cru longtemps, un moyen de purification absolue. On ne l'emploie pas en grand, mais on recommande souvent de l'appliquer en temps d'épidémie aux eaux suspectes destinées à l'alimentation domestique : les Chinois et les Japonais y recourent presque constamment, et l'usage des boissons préparées par l'ébullition de l'eau, comme le thé, le café, lui doivent en partie leurs avantages.

La *distillation* détermine les mêmes phénomènes que l'ébullition; mais la purification obtenue est plus complète : la vapeur, se condensant dans un récipient distinct du vase contenant primitivement l'eau, se trouve absolument débarrassée des matières dissoutes ou en suspension. Ce procédé est fort employé sur les navires, et appliqué en outre dans certaines stations navales, pour rendre potable l'eau de la mer; on a

installé, par exemple, des appareils distillatoires dans l'île de Walcheren (Hollande), pour l'approvisionnement des navires qui sortent du port de Flessingue. Il est nécessaire de conduire l'opération assez lentement, afin d'empêcher tout entraînement mécanique, et de rejeter la première et la dernière fraction de l'eau distillée, moins pures que le reste; on ne doit faire usage que de vases en métal étamé au moyen d'un alliage exempt de toute trace de plomb.

La *congélation* débarrasse aussi l'eau d'une partie de ses impuretés, mais les effets en sont moins complets et l'application peu facile; beaucoup de micro-organismes y résistent, et la glace est souvent assez impure.

C'est dans ces derniers temps seulement qu'on a proposé pour la première fois l'emploi de l'*électricité* à la purification de l'eau; un courant passant dans l'eau suspecte y détruirait les germes nocifs par l'action de l'oxygène naissant. L'idée est spécieuse, mais il n'en a pas été fait d'application pratique.

160. Procédés chimiques. — L'amélioration des eaux peut être obtenue par l'addition de plusieurs substances qui y déterminent des réactions chimiques, et modifient la composition des matières dissoutes : ces substances agissent le plus souvent par *précipitation* ou par *oxydation*.

Parmi celles qui déterminent dans les eaux impures des *précipités*, il convient de citer en première ligne l'*alun*, qui décompose le carbonate de chaux, chasse l'acide carbonique, forme un sulfate de chaux soluble, et laisse déposer l'hydrate d'alumine insoluble ; on en facilite quelquefois l'action par une addition de carbonate de soude. Le précipité d'alumine a la propriété de provoquer le dépôt des matières en suspension. On obtient des effets analogues avec le *perchlorure de fer*. La *chaux* transforme le bicarbonate de chaux en carbonate insoluble, la *baryte* précipite le sulfate de chaux, le *carbonate de soude* déplace la chaux et forme du sulfate de soude, etc. Ces divers corps sont particulièrement employés pour diminuer la dureté de l'eau. Le procédé anglais de Clark pour l'*adoucissement de l'eau*, qui a reçu de nombreuses applications, en petit et en grand, consiste tout simplement dans l'addition d'un lait de chaux; divers moyens ont été indiqués pour le compléter en faisant disparaître son principal inconvénient, qui est la lenteur avec laquelle se forme le dépôt, notamment le procédé par filtration continue, dit Porter-Clark. Le précipité de chaux carbonatée et chargée de matières organiques trouve parfois un emploi ; il peut aussi fournir de la chaux revivifiée pour un nouvel usage.

L'*oxydation* des matières organiques s'obtient par l'addition de *permanganate de potasse* et l'ébullition, quelquefois aussi au moyen du *permanganate de chaux*: il se dépose de l'oxyde de manganèse.

Enfin on a préconisé l'emploi du *sel marin* que, dans certains pays,

on jette dans les puits en temps d'épidémie, ou de l'*acide carbonique*, si répandu maintenant pour la fabrication des eaux gazeuses (eau de Seltz artificielle); mais on est peu renseigné sur l'efficacité de l'un ou l'autre de ces procédés d'amélioration de l'eau.

Peut-être faut-il ranger aussi parmi les modes chimiques d'amélioration l'addition à l'eau de certains liquides aromatiques ou alcooliques de provenance végétale : vin, rhum, thé, goudron, etc.

Les procédés par précipitation doivent être considérés comme applicables plutôt à l'épuration d'eaux résiduaires qu'à l'amélioration d'eaux destinées à la boisson. Des préparations chimiques de ce genre ont toujours quelque chose de répugnant, et, d'autre part, l'alun ne peut être admis dans l'alimentation; la baryte est un poison. Le procédé Porter-Clark, qui permet de réaliser une économie notable de savon par l'adoucissement de l'eau, est néanmoins appliqué assez souvent aux eaux distribuées dans les villes anglaises.

161. Procédés mixtes. — Un certain nombre de procédés d'amélioration pourraient être classés à la fois dans deux des catégories que nous venons de passer en revue, et c'est pourquoi nous leur donnons la qualification de *mixtes*. Quelques-uns de ceux qui ont été précédemment cités, se trouvent eux-mêmes dans ce cas : ainsi, dans la filtration, l'air emprisonné dans les pores des matières filtrantes agit souvent comme oxydant; le charbon, l'éponge de fer opèrent au contraire comme réducteurs, et il y a, par suite, action mécanique et action chimique combinées; l'agitation en présence de l'air, la précipitation par l'alun agissent aussi chimiquement et mécaniquement.

On doit ranger plus particulièrement parmi les procédés mixtes : le système Anderson, qui comporte l'agitation de l'eau en présence de la limaille de fer, puis la filtration sur un filtre à sable, double action mécanique et chimique qui donne, paraît-il, de bons résultats à Anvers; certains filtres, qui ont pour principe la rotation d'un appareil mobile, produisant l'agitation de l'eau mélangée à des substances chimiques; le filtre Maignen, de Londres, où l'eau doit traverser une couche d'amiante tressée, recouverte d'un dépôt de charbon animal et de chaux, et qui retient mécaniquement les matières en suspension, en même temps qu'il décompose chimiquement les sels dissous, etc.

§ 2.

DÉCANTATION OU CLARIFICATION PAR LE REPOS

162. Son utilité. — La clarification de l'eau par le repos s'applique surtout aux eaux de rivières, afin de les débarrasser des matières en

suspension dont elles sont toujours plus ou moins chargées, des *troubles* qui, d'une part, leur donnent un aspect désagréable, et produisent, d'autre part, très fréquemment des effets fâcheux sur l'organisme.

Dès que l'eau est au repos, les matières en suspension se déposent par ordre de grosseur et de densité : si elle est très chargée, on obtient assez vite un résultat des plus marqués ; puis les matières restantes, de plus en plus ténues, se déposent avec une lenteur croissante ; et, pour arriver à une clarification complète, il n'est pas rare qu'une durée de huit à dix jours soit nécessaire. Il y a même des eaux qui ne se clarifient jamais d'une façon absolue, quelque prolongé que soit le repos auquel on les soumet : telles sont les *eaux blanches* de Versailles.

La décantation pourrait même avoir, s'il faut en croire MM. Fol et Dunant, des conséquences inattendues : une eau chargée de germes en serait débarrassée, partiellement au moins, par le repos.

Pour juger exactement du progrès de la clarification, on a proposé et employé en Allemagne, en Angleterre et aux États-Unis des procédés photométriques qui ont tous pour principe le passage d'un rayon lumineux au travers d'une lame d'eau d'une épaisseur déterminée.

163. Les inconvénients. — Malheureusement, la décantation n'est pas sans inconvénients : la durée, souvent fort longue de l'opération, oblige à donner aux bassins une étendue considérable, ce qui en fait des ouvrages extrêmement dispendieux ; « ajoutez à cela que l'immobilité de « ces grandes masses d'eau, pendant huit à dix jours consécutifs, com- « binée avec la chaleur et l'action de l'air, pourrait en amener prompte- « ment l'altération, par suite du développement des végétaux, dont la « surface ne tarderait pas à devenir le siège, et aussi de la putréfaction « des insectes nombreux qui y tomberaient de l'atmosphère [1].

Cette dernière considération, très grave au point de vue de l'hygiène, amène M. Wolffhügel à recommander de ne pas laisser séjourner l'eau en repos pendant plus de 36 heures dans les bassins. Ce serait condamner presque toutes les installations existantes, disposées le plus souvent pour que l'opération soit prolongée pendant trois ou quatre jours. Et que dire des énormes bassins de dépôt créés ou projetés sur les bords de la Tamise, en vue d'emmagasiner des quantités d'eau suffisantes pour assurer le service des distributions d'eau de Londres sans faire d'emprunt au fleuve pendant les crues, qui durent souvent deux ou trois semaines au moins ?

Ne faut-il pas conclure, avec Arago, que « le repos ne pourrait pas « être adopté comme méthode définitive de clarification de l'eau destinée « à l'alimentation des grandes villes et qu'on doit le considérer plutôt « comme un moyen de la débarrasser de tout ce qu'elle renferme de plus « lourd et de plus grossier » ?

1. Darcy. *Les Eaux publiques de Dijon*, p. 561.

C'est à ce rôle, en effet, qu'est réduit en pratique l'emploi de la clarification : le plus souvent, elle précède la filtration et la facilite en provoquant le départ d'une partie des matières en suspension.

164. Bassins de décantation. — Le cube des bassins doit être calculé d'après les quantités d'eau que l'on veut y faire séjourner et le temps pendant lequel on se propose de les tenir au repos. Leur nombre doit permettre d'en avoir constamment un en remplissage, un en vidange et un en nettoyage : il en faut donc quatre au moins pour une installation complète. Leur profondeur doit être suffisante pour que la prise puisse être établie en un point assez éloigné et de la surface et du fond, de manière à n'en pas recevoir les impuretés : il est bon de donner à la tranche d'eau, quand on le peut, une épaisseur de trois mètres environ.

A Marseille, on fait la décantation des eaux de la Durance dans les bassins Saint-Louis, au nombre de quatre, qui ont une longueur de 180 mètres, une largeur de 82 mètres et une profondeur de $5^{m},70$. Le nettoyage se fait tous les quatre mois environ : le dépôt, dont l'épaisseur a généralement atteint 35 à 40 centimètres, est entraîné par un courant d'eau.

Les bassins de dépôt employés par les diverses compagnies de Londres ont des dimensions très variables, suivant le degré de clarification qu'elles se sont proposé d'obtenir et le cube d'eau qu'elles ont à emmagasiner.

Presque toujours les bassins de dépôt sont découverts, bien qu'il y ait certainement intérêt à les couvrir, l'obscurité et la fraîcheur devant retarder notablement la putréfaction des matières organiques et l'altération de l'eau ; mais on recule devant la dépense très importante qui en résulterait. Il y a cependant en Angleterre des bassins de dépôt couverts, à Canterbury, par exemple.

Pour maintenir en tout temps la prise d'eau à une hauteur convenable, on a parfois recours à des conduits ou déversoirs rendus mobiles par le moyen de flotteurs : c'est ce qui a été fait à Canterbury et à Aberdeen.

§ 3.

FILTRATION ARTIFICIELLE DES GRANDES MASSES D'EAU

165. Grands filtres à sable. — Pour la filtration en grand de la totalité des eaux distribuées dans une ville, il n'a guère été employé, sauf de rares exceptions, qu'un seul procédé, celui dit *procédé anglais*, et qui consiste dans le passage de l'eau à travers des couches de sable et de gravier. Toutes les autres matières, dont on a proposé l'emploi pour le filtrage de l'eau, sont en général trop coûteuses pour que l'application en grand ait pu en être faite.

Dans la plupart des cas, l'eau est décantée d'abord dans des bassins de dépôt. Elle passe ensuite sur les *filtres,* et traverse une série de couches, en nombre variable et d'épaisseurs diverses, mais toujours rangées par grosseurs croissantes des matériaux, les plus fins au-dessus, et les plus gros au fond. L'eau filtrée est recueillie à la partie inférieure par des *drains*, qui la conduisent dans des réservoirs spéciaux, où elle s'emmagasine et d'où elle est jetée dans la distribution.

Ce procédé, qui avait déjà été appliqué à Glascow et dans quelques villes anglaises, a été introduit à Londres en 1839 par M. Simpson, ingénieur de la Compagnie de Chelsea. Depuis lors, toutes les compagnies de Londres l'ont successivement adopté, et il s'est répandu peu à peu dans la Grande-Bretagne, puis sur le continent et aux États-Unis : Marseille, Dunkerque en France, Berlin, Altona, Magdebourg en Allemagne, Hudson, Poughkeepsie en Amérique, etc., etc., en ont fait des applications.

L'eau est parfaitement débarrassée des matières en suspension par une simple action mécanique, si la filtration est assez lente, l'épaisseur des couches suffisante, le sable bien graveleux et entretenu dans un état convenable de pureté. En même temps, il se produit une action chimique, qui est généralement attribuée à l'influence de l'air emprisonné dans les pores du sable, et dont l'effet le plus marqué est la diminution de la proportion des matières organiques dissoutes : d'après Frankland, de l'eau qui contenait avant la filtration 3,25 de carbone organique et 0,46 d'azote n'en renferme plus après que 2,58 et 0,32 ; la Commission de la pollution des rivières a trouvé des résultats analogues. On observe aussi une diminution de la quantité de carbonate de chaux dans les eaux incrustantes, et par contre, assez souvent, une petite augmentation des sels dissous par emprunt aux sables ou par suite de la transformation des matières organiques en nitrates.

Il résulte d'expériences récentes de Frankland que le sable très fin serait capable de retenir jusqu'à neuf dixièmes des micro-organismes contenus dans l'eau ; mais il perd très rapidement cette propriété et les laisse passer au bout de quelques heures.

En général, la filtration par le sable n'améliore pas le goût de l'eau et n'en fait pas disparaître la coloration.

165. Théorie de la filtration. Précautions spéciales. — D'après Darcy, le volume d'eau qui passe à travers une couche de sable, d'une nature donnée, est *proportionnel à la pression* et *en raison inverse de l'épaisseur*. En conséquence, on augmente la vitesse soit en augmentant la pression, ou la charge qui produit l'écoulement, soit en diminuant l'épaisseur ; mais, « ce qu'on gagne en vitesse, on le perd en efficacité », et, dans chaque cas, il convient de se livrer à une série de tâtonnements pour déterminer les conditions les plus convenables et obtenir une puri-

fication complète, sans dépasser les limites pratiques pour les dimensions des ouvrages et la durée des opérations.

L'épaisseur totale des couches de sable varie généralement de 1 mètre à $2^m,50$, bien que, d'après Darcy, il suffise d'une couche de sable fin de $0^m,20$ d'épaisseur et d'une couche-support de gravier de quelques centimètres seulement pour réaliser la filtration complète. L'augmentation des épaisseurs et le classement des matériaux par grosseurs graduées ont le double avantage d'empêcher l'entraînement du sable fin et de maintenir une tranche d'eau en permanence dans le filtre, de manière à y empêcher la production de courants ; on y trouve une garantie de la régularité du fonctionnement.

Suivant l'état de l'eau à filtrer, on admet généralement qu'on en peut faire passer de $1^m,50$ à 3 mètres cubes par mètre carré de surface de filtre dans les vingt-quatre heures. Bien que les eaux de la Tamise, à Londres, soient assez claires, on ne peut en laisser passer sur les filtres que 7 à 25 centimètres par heure, soit $1^m,70$ à 6 mètres cubes par jour.

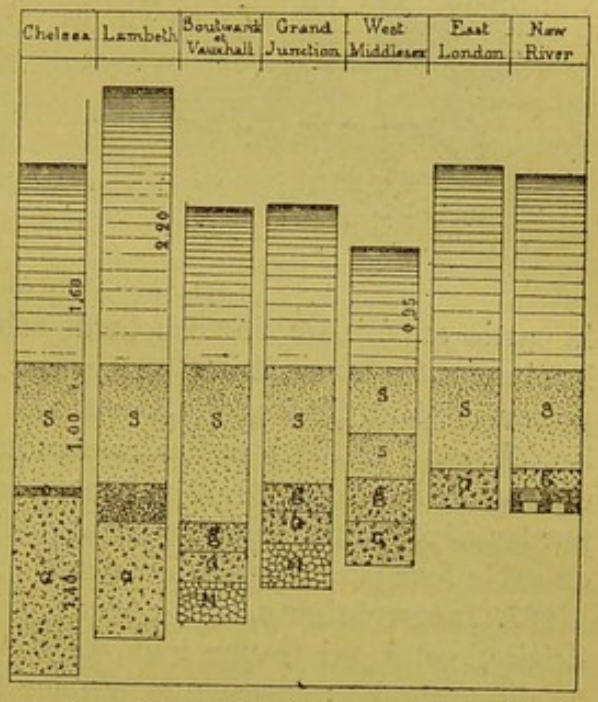


Fig. 44. — Filtres de Londres. — S, sable ; — C. cailloux ; — g, gravier fin — G, gros gravier ; — M, moellons ; — B, briques.

Les *drains*, qu'on établit au-dessous des couches filtrantes, s'exécutent soit en briques posées à sec, en ardoises ou en pierres schisteuses, soit en tuyaux de fonte ou de poterie posés à joints ouverts. Il convient de les pourvoir de ventouses pour l'échappement de l'air, de vannes pour la décharge et le nettoyage.

De temps en temps, il est nécessaire de rendre au filtre son activité

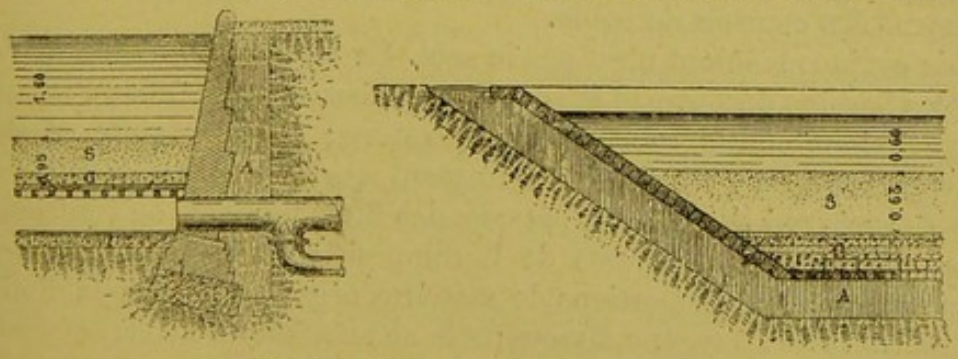


Fig. 45 et 46. — Types de filtres anglais.

primitive, qui tend à décroître par l'usage. On conçoit, en effet, que les

pores du sable, retenant les troubles en suspension dans l'eau, se bouchent peu à peu, et que par suite la vitesse de l'écoulement diminue jusqu'au moment où elle s'annule et où le filtre cesse de fonctionner, ce qui arrive d'autant plus vite que l'eau est plus chargée et le sable plus fin. On procède alors soit au remplacement de la couche de sable avariée, soit à son nettoyage : le premier moyen est le plus répandu, et c'est pour en rendre l'application plus facile qu'on a soin de disposer à

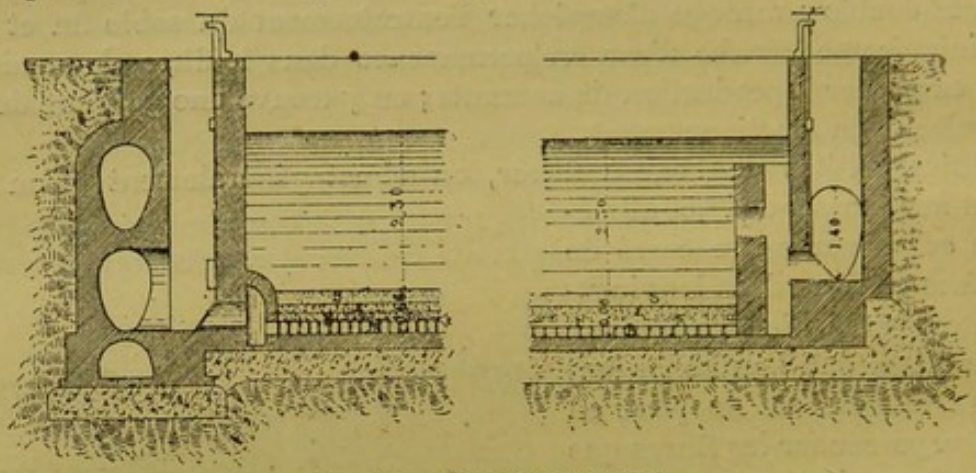


Fig. 47. — Filtre de Dunkerque.

la partie supérieure une couche de sable fin qui retient presque toutes les impuretés et qu'il suffit, pendant longtemps, de remplacer seule pour rendre au filtre son efficacité; le second, appliqué à Dunkerque, à Zurich, etc., consiste ordinairement dans le renversement momentané du sens de l'écoulement, afin de produire dans les petits canaux obstrués par les dépôts une sorte de chasse qui les dégage et rend aux couches de sable leur perméabilité première.

167. Inconvénients. — Le plus gros inconvénient de la filtration artificielle, celui qui frappe tout d'abord, c'est la dépense considérable qu'elle nécessite : dépense de premier établissement, car pour obtenir le filtrage lent, qui est seul efficace, il faut disposer d'ouvrages très étendus; dépense d'entretien, puisque le bon fonctionnement d'un filtre dépend des soins qu'on apporte au nettoyage périodique et au renouvellement des couches de sable.

Mais cet inconvénient n'est pas le seul. La longue stagnation de l'eau dans les bassins découverts et sous une épaisseur assez faible l'expose à des variations considérables de température ; elle s'échauffe en été et des végétations s'y développent, formant quelquefois sur le sable une sorte de tapis qui s'oppose au passage des filets liquides, ou contribuant à des modifications fâcheuses de la composition chimique, par suite de l'augmentation des proportions de matières organiques ou de la diminution de celles de l'oxygène dissous; elle se refroidit en hiver, se congèle et le service se trouverait arrêté si l'on n'avait soin de casser la glace au fur et à mesure de sa formation, comme on a dû le faire à Berlin, à

Hudson, à Poughkeepsie, etc. On peut éviter, il est vrai, une partie de ces conséquences de la stagnation dans des bassins découverts en établissant, au-dessus des filtres, des toitures ou des voûtes, en couvrant les ouvrages : mais c'est là encore une cause de dépense très importante ; il n'en a pas moins fallu s'y résigner dans certaines villes du continent, comme Berlin, Magdebourg, etc., où le climat présente des variations plus grandes qu'en Angleterre, et dans ce pays même on y a eu recours pour quelques installations.

On a observé, d'autre part, que l'eau filtrée se conserve difficilement et ne tarde généralement pas à se corrompre. Il convient donc de la recevoir dans des réservoirs de petites dimensions où elle séjourne très peu de temps, et il est bon de couvrir ces réservoirs et d'en assurer le nettoyage fréquent.

168. Autres procédés. — C'est seulement par exception que des procédés de filtrage autres que le système anglais ont été appliqués à des distributions d'eau, soit que le passage de l'eau à travers le sable donnât des résultats incomplets, soit qu'il s'agît de ne soumettre à la filtration qu'une fraction des eaux distribuées.

On peut citer l'adoption récente du *système Anderson* pour le traitement des eaux de la Nèthe, à Anvers, celle du *procédé Spencer* (oxyde magnétique de fer) à Wakefield, comme des exemples du premier de ces deux cas.

Paris fournit un exemple du second : pendant longtemps une petite partie de l'eau de Seine distribuée y a été filtrée par des moyens spéciaux, soit dans l'établissement privé dit des *Célestins*, soit dans les *fontaines marchandes* installées par le service municipal pour la vente de l'eau aux porteurs d'eau. C'est en 1806 que Smith, Cuchet et Montfort ont établi, sur le quai des Célestins, des filtres, composés de quatre couches filtrantes, éponges, sable, charbon et sable, superposées dans des caisses en plomb, d'où l'eau tombait, par gouttes, dans un réservoir inférieur. En 1835, on appliqua, dans quelques fontaines marchandes, le *procédé Fonvielle*, qui consistait dans le passage de l'eau à travers des couches d'éponges, de gravier, de zinc, de limaille de fer et de charbon, et qui fut perfectionné par l'emploi de l'eau en pression et l'adjonction d'un mode de nettoyage rapide au moyen de plusieurs courants d'eau ; à partir de 1839, le *procédé Souchon*, éponges et laine tontisse, a été employé concurremment avec le précédent ; puis une fusion se produisit, et un système mixte, dit *Vedel* et *Bernard*, fut généralisé par la Compagnie de filtrage des Eaux de Paris. L'arrivée à Paris des eaux de source a rendu inutile l'emploi de ces divers procédés, dont toutes les applications en grand ont disparu.

§ 4.

FILTRATION INDUSTRIELLE ET DOMESTIQUE

169. Le filtrage dans l'industrie. — Certaines industries qui exigent des eaux parfaitement limpides et débarrassées de toutes matières en suspension ont assez souvent recours à l'emploi des filtres; et des dispositions nombreuses ont été étudiées précisément en vue de ce genre d'applications.

Les quantités d'eau à fournir par les filtres industriels étant beaucoup moindres en général que celles nécessaires dans les distributions d'eau des villes, on a pu y faire emploi de matières plus coûteuses et admettre des dispositions plus compliquées; on y a aussi adapté les systèmes appliqués pour la filtration en grand dans les villes. D'où une grande diversité dans les procédés et dans les appareils.

En France, le type Vedel et Bernard, des fontaines marchandes de Paris, est encore employé avec ou sans modifications dans les raffineries, brasseries, etc. Les filtres à sable sont aussi très répandus; puis

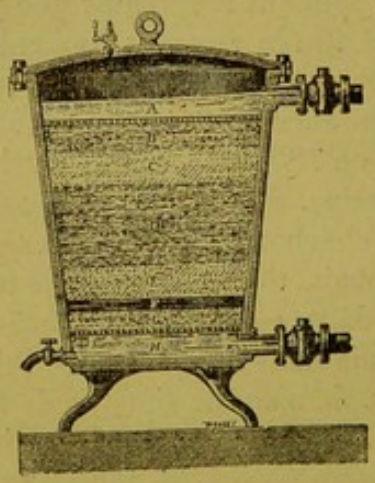


Fig. 48. — Filtre Vedel et Bernard.

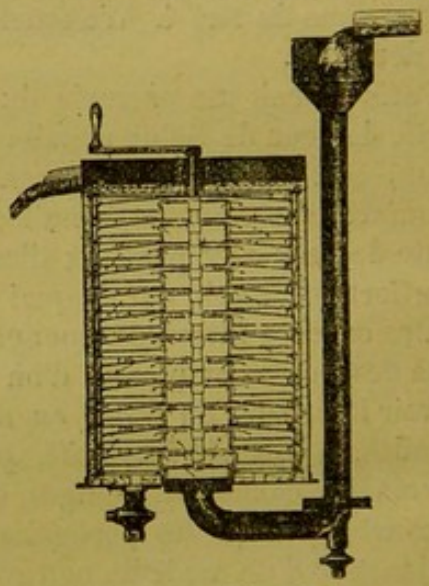


Fig. 49. — Filtre Piefke.

viennent des procédés chimiques, applicables surtout lorsqu'il s'agit de traiter des eaux très chargées; des procédés mixtes où l'action des matières filtrantes, sable, fer, cellulose imprégnée de composés antiseptiques, etc., est favorisée par une action mécanique.

170. Le filtrage domestique. — Lorsque l'eau distribuée dans une ville n'est pas offerte aux habitants dans l'état même où elle peut être consommée, lorsqu'elle leur parvient trouble comme c'était le cas à Paris avant l'amenée des eaux de source, force est de recourir au *fil-*

trage domestique. C'est une nécessité fâcheuse et qu'il importe d'éviter autant que possible, mais que l'on rencontrera longtemps encore dans bien des localités, et qui subsistera toujours, malgré les progrès des distributions d'eau, dans les campagnes, dans les petites agglomérations rurales, etc.

Indépendamment de l'embarras qu'il occasionne, le filtrage à domicile a un double inconvénient au point de vue de la salubrité :

1° Il expose l'eau à toutes les variations de température des appartements et l'échauffe beaucoup en été ;

2° Il met à la portée du consommateur deux eaux différentes, et comme l'une d'elles suppose des soins spéciaux, une surveillance continue, on doit craindre que bien souvent l'autre ne soit consommée de préférence, parce qu'on se la procure plus aisément.

Connu et appliqué dès l'antiquité, le filtrage à domicile était alors obtenu par l'emploi de vases en terre poreuse. Le grès mince était consacré à cet usage dans l'ancienne Égypte : on le retrouve aujourd'hui au Japon.

En France, la terre poreuse fut remplacée vers le milieu du XVII[e] siècle par le sable, disposé dans des vases en cuivre ou en bois doublé de plomb. Amy, en 1745, ajouta au sable diverses autres matières filtrantes, et notamment l'éponge. Mais c'est à partir du commencement du XIX[e] siècle que, les applications du filtrage à domicile se multipliant, on a fait concurremment usage de toutes les matières susceptibles de clarifier l'eau et créé une foule d'appareils spéciaux.

171. Réservoirs-filtres. — On peut ramener tous ces appareils à trois types distincts : les *réservoirs-filtres* ou *fontaines filtrantes;* les filtres où l'eau parvient sans pression, dits *à basse pression;* et les filtres fonctionnant sous la pression existant dans les conduits, ou *à haute pression.*

La disposition la plus simple des *réservoirs-filtres* est celle des fontaines filtrantes si répandues à Paris, et que Duchesne a décrite en 1800 dans le *Dictionnaire de l'Industrie :* dans un réservoir prismatique en pierre de liais, en marbre ou en grès, on forme vers la partie inférieure une petite chambre isolée au moyen de deux pierres poreuses (Vergier, provenant de la Picardie), l'une verticale et l'autre inclinée, de $0^m,027$ d'épaisseur; le réservoir étant rempli d'eau, la filtration se produit à travers la pierre poreuse, et l'eau filtrée, tombant en gouttes dans la petite chambre, s'y emmagasine. Cette disposition implique le remplissage fréquent du réservoir à la main, exige le nettoyage périodique et le grattage de la pierre qui s'encrasse assez rapidement, malgré la précaution qu'on a prise de l'incliner pour y diminuer les dépôts, et enfin ne donne qu'un résultat incomplet par une action purement mécanique.

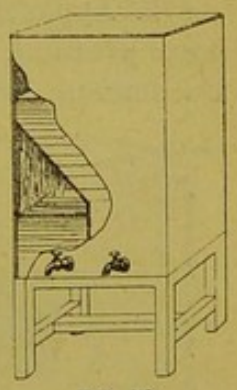


FIG. 50.

Plus récemment, on a proposé des réservoirs reliés directement aux conduites de distribution, recevant en pression l'eau à filtrer, et emmagasinant l'eau filtrée sous pression. Tel est le cas du filtre Chanoit, construit par Carré (*fig.* 51) : l'eau passe lentement, et de bas en haut, à travers une matière filtrante incorruptible, la laine de scories, et s'élève

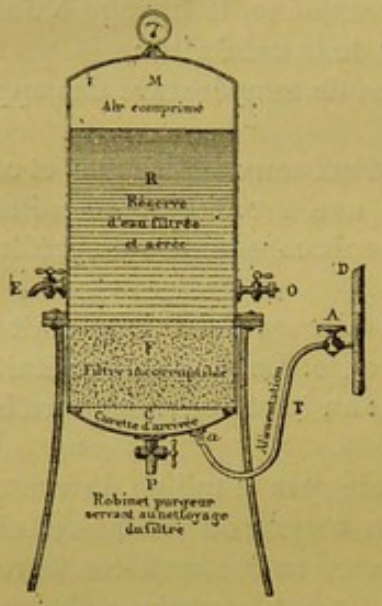


Fig. 51.

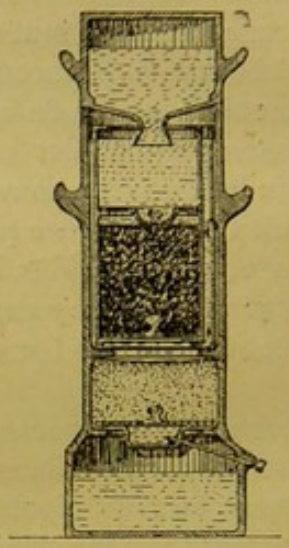


Fig. 52.

peu à peu dans le compartiment supérieur en comprimant l'air qui s'y trouve ; elle reste donc aérée et les dépôts se forment dans le compartiment inférieur, qu'un robinet de purge permet de vider sous pression, de manière à obtenir un nettoyage efficace.

Un autre type, à basse pression, avec éponge de fer et sable, dû au professeur anglais Bischof (*fig.* 52), agit à la fois mécaniquement et chimiquement ; sauf cette double action, il a tous les inconvénients de la fontaine filtrante de Paris.

172. Appareils de filtrage à basse pression. — Parmi les *filtres à basse pression*, sans réserve d'eau, il convient de classer les appareils Ducommun, brevetés en 1814, et où la clarification de l'eau est obtenue par son passage à travers des couches de sable, entre lesquelles se trouve intercalée une couche de charbon.

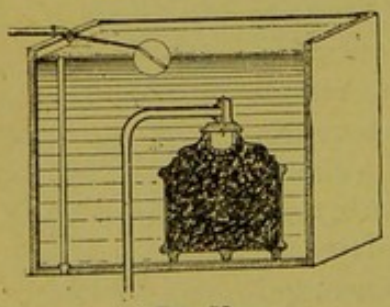


Fig. 53.

Comme type de ce genre de filtres, nous citerons celui de la *London and General Water purifying Company*. Il se compose d'un vase en terre rempli de noir animal, placé dans un petit réservoir, et que l'eau doit traverser de bas en haut à chaque puisage, sous une pression de quelques décimètres d'eau seulement (*fig.* 53). Les dépôts se forment au-dessous du filtre et tendent à tomber au fond

du réservoir, de sorte que le nettoyage, qui consiste dans le remplacement du charbon, puisse n'avoir lieu qu'à intervalles assez éloignés.

Le filtre Maignen, de Londres, est un appareil du même genre, mais fort ingénieux, où l'eau est obligée de traverser deux couches superposées, l'une en poudre, l'autre en grains, de *carbo-calcis*, mélange de noir animal et de chaux, reposant sur un petit sac en amiante qui coiffe un cône en faïence percé de trous (*fig.* 54). Il donne des résultats remarquables, et retient même les sels de plomb qui peuvent se trouver en dissolution dans l'eau. Mais sa complication et les soins minutieux qu'il exige en limitent nécessairement l'emploi. Sous une forme un peu différente, il a été employé avec succès, paraît-il, pour l'armée anglaise au Soudan.

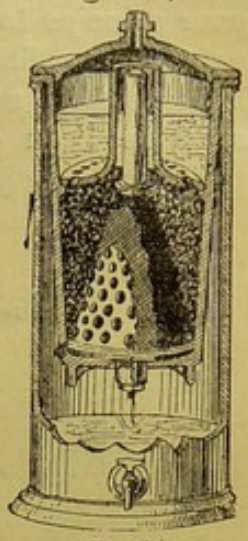


Fig. 54.

Tout récemment, on a proposé à Vienne l'emploi d'un nouveau filtre où la couche poreuse se compose de poussière d'amiante fixée à l'aide d'un vernis sur une feuille de toile métallique (Filtre Breyer, dit à micromembrane).

173. Appareils de filtrage à haute pression. — Le type primitif des filtres à haute pression est le filtre anglais, composé d'une poche en grès fixée au robinet de prise d'eau, et que l'eau est obligée de traverser de dedans en dehors (*fig.* 55).

Aux États-Unis, on emploie beaucoup de filtres de ce genre, dont le petit volume et le prix modeste constituent les principaux avantages;

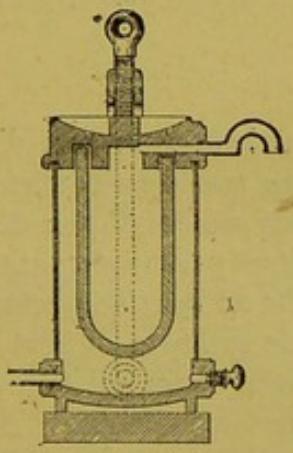


Fig. 55.

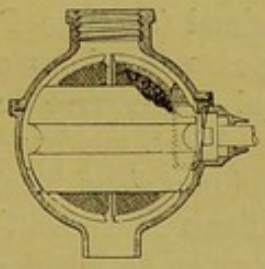


Fig. 56.

mais qui, en raison de la rapidité avec laquelle l'eau doit les traverser, ne donnent en général qu'un résultat fort imparfait. Tels sont les *robinets-filtres* Aborn, Grant, Hougton, etc. Le professeur Nichols donne la description d'un de ces petits appareils où la matière filtrante est contenue dans une boule qu'on peut tourner de manière à y faire passer l'eau, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, d'où résulte un nettoyage simple et facile (*fig.* 56).

Récemment de petits filtres à haute pression ont paru en France et ont réussi à obtenir la vogue, à cause surtout de la propriété qu'ils possèdent de retenir les micro-organismes en suspension dans l'eau; ils ont pour principe la filtration par la *porcelaine dégourdie*, matière à pores extrêmement fins, qui retient les impuretés à la surface et qu'un coup de brosse suffit à nettoyer; mais la lenteur avec laquelle s'y effectue le passage de l'eau en limite nécessairement les applications. La *bougie*

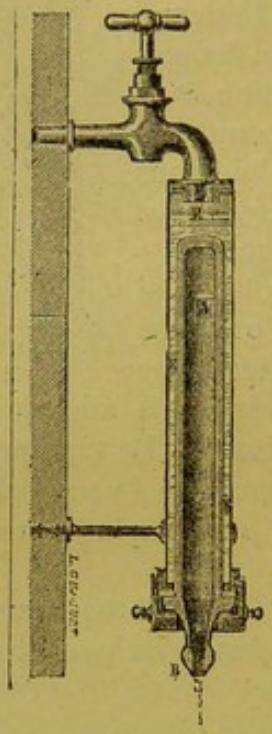


Fig. 57. — A, bougie en porcelaine dégourdie;— B, sortie de l'eau filtrée; — E, eau à filtrer.

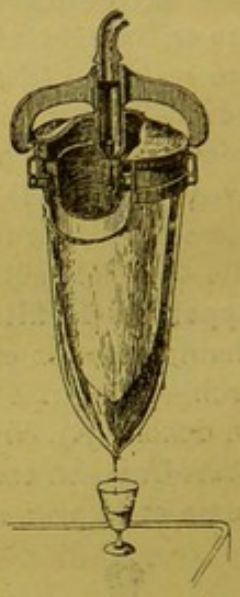


Fig. 58.

Chamberland (système Pasteur) (*fig.* 57), présente un bon dispositif : l'eau y passe de dehors en dedans, de sorte que c'est la surface extérieure qui se recouvre de dépôts et qu'il faut seule nettoyer de temps à autre; au début, une bougie débite 30 à 40 litres par vingt-quatre heures, puis le volume d'eau filtrée diminue et tombe au bout de quelques jours à 7 ou 8 litres seulement, d'où l'obligation de grouper un plus ou moins grand nombre de bougies, suivant la quantité d'eau que l'on veut couramment obtenir. Le filtre Mallié, où l'eau passe au contraire de dedans en dehors (*fig.* 58), un peu moins facile à nettoyer, donne d'ailleurs des résultats analogues.

CHAPITRE IX

AMENÉE DE L'EAU PAR LA GRAVITÉ

Sommaire :

§ 1er. *Généralités.* — 174. Différents modes d'amenée de l'eau. — 175. Dérivations. — 176. Formules de l'écoulement dans les canaux découverts et les tuyaux. — 177. Pentes, vitesses. — 178. Tracé des dérivations.
§ 2. *Aqueducs découverts.* — 179. Rigoles en terre. — 180. Canaux d'amenée servant à la navigation. — 181. Rigoles en maçonnerie.
§ 3. *Aqueducs couverts.* 182. Leurs avantages. — 183. Section transversale des aqueducs couverts. — 184. Types d'aqueducs couverts. — 185. Mode de construction des aqueducs.
§ 4. *Conduites forcées.* — 186. Amenée de l'eau en pression. — 187. Matériaux employés.
§ 5. *Traversée des vallées.* — 188. Arcades. — 189. Ponts-aqueducs. — 190. Mode de construction de ces ouvrages. — 191. Siphons. — 192. Ponts-siphons.
§ 6. *Souterrains.* — 193. Percement des contreforts. — 194. Section des aqueducs souterrains.
§ 7. *Ouvrages accessoires.* — 195. Leur objet. — 196. Regards. Puits. Ventouses. — 197. Déversoirs. Décharges. — 198. Têtes de siphons.

§ 1er.

GÉNÉRALITÉS

174. Différents modes d'amenée de l'eau. — L'eau destinée à l'alimentation est généralement captée en un lieu plus ou moins éloigné de celui où elle doit être consommée ; il faut donc, avant de la *distribuer* aux consommateurs, l'*amener* en un point convenablement choisi dans le voisinage. Entre ce point d'arrivée et la prise d'eau, il y a une certaine distance horizontale à franchir, en même temps qu'une différence de niveau dans un sens ou dans l'autre.

Si le point de départ est plus élevé que le point d'arrivée, la *pesanteur* suffit presque toujours pour obliger l'eau à parcourir la distance horizontale qui les sépare. Imitant alors ce qui se passe dans la nature, où l'eau s'écoule en vertu de la gravité, soit à la surface du sol dont elle suit les pentes, soit dans les canaux qu'elle s'est elle-même creusés dans les couches profondes, on lui fait un *lit artificiel*, où on la

conduit après l'avoir détournée de son ancien cours, et où elle se met en mouvement, grâce à la différence de niveau qui lui permet de vaincre la résistance que le frottement sur les parois oppose à son écoulement. C'est ce que l'on appelle une *dérivation*.

Si c'est le point d'arrivée qui est plus élevé, la pesanteur devient un obstacle qu'il faut vaincre par l'emploi d'une force motrice capable d'*élever* l'eau jusqu'au niveau qu'elle doit atteindre. Le plus souvent, les machines qui élèvent l'eau lui font en même temps franchir la distance horizontale du départ à l'arrivée. D'autres fois, elles la refoulent tout d'abord à une altitude un peu supérieure à celle du point d'arrivée, à l'origine d'un canal où elle coule ensuite par le seul effet de la gravité : c'est ainsi que la machine de Marly élève l'eau de la Seine au sommet d'un côteau d'où elle gagne Versailles, et que les nouvelles eaux de Constantinople sont portées des bords de la mer Noire jusque sur les collines qui la dominent pour s'écouler ensuite vers Péra dans un aqueduc de grande longueur.

Parfois on est conduit à réunir, pour les amener au même point, des *eaux hautes* qui pourraient s'y rendre par le seul effet de la gravité, et des *eaux basses* qui ne sauraient y parvenir sans l'effort des machines. L'aqueduc qui amène à Paris les sources de la Vanne offre un exemple de cette combinaison mixte : des machines jettent dans la dérivation des sources hautes le produit de plusieurs sources basses, de telle sorte que ces dernières ont pu être utilisées sans perdre l'avantage résultant de l'altitude supérieure des autres. C'est ainsi également que le débit du canal de l'Ourcq est renforcé du produit de machines élévatoires qui y refoulent l'eau de la Marne.

175. Dérivations. — Le type primitif des dérivations est la *rigole en terre* tout à fait analogue au lit naturel que se creusent les cours d'eau au fond des vallées. La nécessité de prévenir les corrosions des parois de ce *canal* et surtout d'empêcher les infiltrations dans un sol perméable a conduit à en revêtir le fond et les bords de bois ou de maçonnerie, à faire des *aqueducs découverts*. Puis le besoin de protéger l'eau contre les agents naturels de contamination, de la mettre à l'abri des variations de température, l'obligation de vaincre les obstacles naturels que la topographie du terrain oppose parfois au tracé des rigoles, ont donné naissance aux *aqueducs couverts* en maçonnerie, aux *conduites* en bois, en poterie, en métal. Pour franchir les vallées, on a dû supporter la rigole, couverte ou non, au moyen d'*arcades*, et créer les *ponts-aqueducs*, ou recourir aux *siphons*, c'est-à-dire à des conduites posées suivant les déclivités du sol et dans lesquelles l'eau descendant d'abord jusqu'au fond de la dépression naturelle à traverser remonte ensuite sur l'autre versant à une hauteur un peu moindre. Pour passer d'un côté à l'autre d'un contrefort, on a imaginé de percer des *souterrains* dans le sol meuble ou dans le roc.

Quel que soit d'ailleurs parmi les divers types de dérivations celui que l'on ait choisi, l'écoulement s'y produira toujours en vertu de la *pente totale* dont on dispose et d'où résulte la *charge* qui permet de vaincre le frottement. La ligne qui joint le point de départ au point d'arrivée prend le nom de *ligne de pente* ou *ligne de charge*. Si la pente est uniformément répartie sur toute la longueur, l'eau tend à prendre un mouvement uniforme, dans le cas contraire son mouvement est varié. Lorsque rien ne s'y oppose, sa surface s'établit suivant la ligne de pente même, qui se confond alors avec la *ligne d'eau;* c'est ce qui arrive dans les aqueducs découverts ou fermés dont le profil suit précisément cette ligne et auxquels s'applique l'appellation de *conduites* ou *aqueducs libres*. Lors-

Fig. 59.

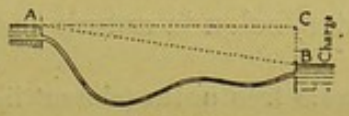


Fig. 60.

que le profil s'écarte de la ligne de pente et s'abaisse en contre-bas pour remonter plus loin à son niveau, l'eau ne peut le suivre qu'à la condition d'être enfermée dans un tuyau qu'elle remplit complètement, où elle se met en pression et qui constitue une *conduite forcée*.

Les anciens n'employaient les conduites forcées que pour des écoulements de peu d'importance, sauf de rares exceptions ; mais ils ont construit des conduites libres de grandes dimensions, parmi lesquelles les plus célèbres, les neuf aqueducs de l'Ancienne Rome, présentaient des longueurs comprises entre 16 kil. 6 (*Appia*) et 91 kil. 6 (*Anio vetus*). Dans les dérivations modernes, les conduites forcées jouent un rôle considérable, bien que la majeure partie en soit toujours exécutée en conduites libres. Au point de vue de la longueur totale, ce sont celles qui ont été exécutées pour l'alimentation de Paris, la *Dhuis* et la *Vanne*, qui tiennent le premier rang, elles ont respectivement 131 et 173 kilomètres de longueur ; on peut citer ensuite Vienne 98 kilomètres, Naples 83, Francfort 82, New-York (*Croton*) 65.

176. Formules de l'écoulement dans les canaux découverts et les tuyaux. — Nous ne traiterons pas ici des lois de l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts ou dans les tuyaux, et nous nous bornerons à rappeler que les formules employées pour résoudre les problèmes qui se présentent dans la pratique, et qui donnent la relation entre la pente, la section, la vitesse moyenne et le débit dans un aqueduc, sont en général encore celles dues à de Prony et à MM. Darcy et Bazin.

La formule de Prony, applicable aux parois de toute nature, est de la forme :

$$RI = au + bu^2$$

R est le *rayon moyen* ou en d'autres termes le rapport $\frac{\Omega}{\chi}$ entre la section mouillée Ω et le périmètre mouillé χ, I la pente ou la charge par mè-

tre, u la vitesse moyenne, a et b des coefficients numériques constants pour lesquels Prony a donné les nombres :

$a = 0{,}0000444$, $b = 0{,}000309$ (canaux découverts) ; $a = 0{,}0000173$, $b = 0{,}000348$ (tuyaux).

et Eytelwein

$a = 0{,}000034$, $b = 0{,}000365$; $a = 0{,}000022$, $b = 0{,}000280$.

Dans la formule de Darcy et Bazin :

$$RI = b_1 u^2$$

le coefficient numérique b_1 est de la forme $\alpha + \frac{\beta}{R}$ et prend les valeurs suivantes, selon la nature des parois, pour les canaux découverts :

Parois très unies (ciment lissé, bois raboté, etc.) .	$0{,}00015\ (1 + \frac{0{,}03}{R})$.
Parois unies (pierre de taille, briques, planches, etc.).	$0{,}00019\ (1 + \frac{0{,}07}{R})$.
Parois peu unies (maçonnerie de moellons, etc.)..	$0{,}00024\ (1 + \frac{0{,}25}{R})$.
Parois en terre.....	$0{,}00028\ (1 + \frac{1{,}25}{R})$.

pour les tuyaux b_1 est égal à

$$0{,}0002535 + \frac{0{,}00000323}{R}$$

lorsqu'ils sont neufs et en fonte ou en fer étiré ; on le multiplie par 2 pour les tuyaux depuis longtemps en service et recouverts de dépôts, et par 0,67 pour ceux en tôle et en verre.

Des tables numériques, établies au moyen de ces formules, servent d'ordinaire à faciliter les calculs [1].

177. Pentes. Vitesses. — Faute d'instruments précis pour régler la pente des aqueducs, les anciens ne pouvaient guère en admettre une qui fût inférieure à $0^m{,}50$ par kilomètre, excepté cependant pour les rigoles en terre qu'ils traçaient sans doute en se faisant suivre par l'eau, procédé encore en usage aujourd'hui dans les prés irrigués. Les instruments perfectionnés dont dispose l'ingénieur moderne lui permettent d'aborder des pentes plus faibles : les aqueducs de la Vanne et de la Dhuis n'ont pas plus de $0^m{,}10$ de pente par kilomètre. Il convient de ne pas descendre beaucoup plus bas, car, si l'écoulement devenait trop lent, des dépôts se formeraient dans les aqueducs, et les rigoles seraient rapidement envasées ou obstruées par la pousse des herbes : Genieys recommande de ne pas réduire la vitesse à moins de $0^m{,}35$ par seconde.

Une autre considération limite d'ailleurs, pour chaque nature de parois, la rapidité de l'écoulement ; il ne faut pas, en effet, que la vitesse

1. Voir aux Annexes.

de l'eau soit assez grande pour en déterminer la dégradation. De même, les vitesses admissibles dans les aqueducs diffèrent suivant les matériaux employés à leur exécution. Mais, quelque grandes qu'elles soient, elles ne sauraient y empêcher la formation de ces dépôts adhérents aux parois, que l'on trouve dans toutes les conduites d'eau après un temps de service plus ou moins long, et qui sont si marqués dans les aqueducs romains, malgré leurs fortes pentes et les vitesses considérables qui devaient en résulter.

Si l'on dispose d'une pente totale importante, il est avantageux d'en profiter pour réduire la section de l'aqueduc en augmentant la vitesse; l'économie obtenue par suite de cette réduction n'est point négligeable, bien que la section varie seulement comme l'inverse de la racine carrée de la pente. Dans le cas où la pente totale pourrait donner lieu à une trop grande vitesse, on la divise en ménageant des chutes en certains points, ce qui parfois facilite singulièrement l'adaptation du profil au relief plus ou moins accidenté du terrain. Cette adaptation nécessaire conduit souvent aussi à faire varier la pente et, par suite, la section d'un point à l'autre de l'aqueduc.

« On ne peut soumettre, dit Dupuit, la pente des aqueducs aux lois « d'une formule algébrique. C'est une question éminemment complexe « comme celle de la pente des routes, des chemins de fer, etc. Pas plus « que pour ces travaux, l'ingénieur ne doit s'assujettir à des limites de « pente et à des pentes uniformes. Dans toute l'étendue du parcours, la « pente et la section doivent varier suivant le relief du terrain; cepen- « dant il va sans dire que, toute variation de ces quantités étant par « elle-même un inconvénient, il faut qu'elle soit toujours motivée par « des considérations d'une certaine importance. Il ne faut pas perdre de « vue que la question à résoudre est de conduire une certaine quantité « d'eau d'un point à un autre avec le plus d'économie possible [1]. »

178. Tracé des dérivations. — Le tracé d'une conduite libre comporte toujours une étude fort délicate : les difficultés sont plus grandes que pour le tracé d'une voie de communication, car l'écoulement de l'eau exige une pente continue, et, pour trouver sur toute la longueur le terrain au niveau qui convient à l'établissement de cette pente, il faut souvent décrire de nombreuses sinuosités, contourner les contreforts, pénétrer jusqu'au fond des vallons; souvent aussi le sol s'abaisse bien au-dessous de la ligne de charge ou s'élève partout au-dessus, de telle sorte qu'il faut nécessairement placer l'aqueduc en remblai ou en déblai, sur des supports de grande hauteur, ou en tranchée profonde. Des ouvrages d'art plus ou moins importants et coûteux deviennent alors indispensables, arcades, ponts-aqueducs, souterrains; d'autres fois, ils s'imposent encore par suite de l'obligation d'abréger le parcours dont le

1. *Traité de la conduite et de la distribution des eaux*, p. 238.

développement excessif entraînerait de trop grandes pertes de charge ou des dépenses inadmissibles. Tantôt l'étude du tracé ne laisse aucune hésitation et aboutit à une solution unique ; tantôt, au contraire, elle révèle la possibilité de plusieurs combinaisons différentes, entre lesquelles il y a lieu de faire un choix, et doit être alors complétée par un examen minutieux des conditions et des moyens d'exécution, par une discussion approfondie et méthodique.

Le tracé des conduites forcées est au contraire relativement facile. Il est manifestement nécessaire qu'en aucun point ces conduites ne s'élèvent plus haut que la ligne de charge, car l'eau ne saurait la dépasser, et comme elle s'arrêterait au moment de l'atteindre, il ne se produirait pas d'écoulement. Mais, cette condition remplie, le profil peut être établi suivant une ligne quelconque ou à peu près. Sans doute on doit chercher à éviter les sinuosités trop profondes qui augmentent la pression dans les conduites et obligent à en accroître la résistance, ainsi que les points hauts où l'air tend à s'accumuler et ne tarde pas à faire obstacle à l'écoulement ; mais ce sont là des difficultés secondaires et dont on triomphe au besoin en augmentant les épaisseurs et en disposant des appareils pour l'évacuation de l'air. Cette facilité de tracé est un avantage précieux, qui permet souvent de se dispenser d'expropriations coûteuses, en empruntant le sol des voies publiques existantes, et de simplifier par suite les opérations préliminaires et les formalités de tout genre, ou de diminuer la longueur du parcours et la durée des travaux, etc. D'autre part, elle n'est pas sans danger, car il arrive parfois qu'elle motive une préférence irraisonnée, et qui ne résisterait pas à une comparaison sérieuse, en faveur des conduites forcées, alors que les conduites libres seraient plus satisfaisantes à tous égards et surtout plus économiques. Remarquons d'ailleurs, en passant, que les conduites forcées ne s'appliquent pas au cas où la ligne de charge est en grand déblai, puisqu'un souterrain devient alors nécessaire et qu'il est rationnel d'y faire couler l'eau librement, au lieu de l'enfermer dans une conduite qui serait placée elle-même dans la galerie et dont l'addition doublerait inutilement les frais.

§ 2.

AQUEDUCS DÉCOUVERTS

179. Rigoles en terre. — Les rigoles en terre, dont l'exécution est généralement fort économique et qui rendent de grands services dans certains cas, notamment pour les irrigations, constituent un mode très défectueux d'amenée de l'eau destinée à l'alimentation des villes.

En effet, outre qu'elle s'y perd en partie par infiltration, l'eau y est

exposée à des causes multiples d'altération : entraînement de parcelles détachées des parois, dissolution de certaines substances contenues dans le sol, action de l'air et du soleil, développement de la végétation ; elle s'y charge d'impuretés, et y éprouve des variations de température considérables, depuis les chaleurs extrêmes, causes de fermentations fâcheuses, jusqu'aux froids rigoureux qui l'immobilisent en la transformant en glace.

Ces inconvénients s'atténuent dans les rigoles de grandes dimensions, larges et profondes, où l'eau a un cours assez rapide pour s'opposer à l'envasement et à la pousse des herbes ; mais alors il faut souvent défendre les berges contre la corrosion au moyen de revêtements en fascinage ou de perrés ; la dépense qui en résulte, celle d'acquisition des terrains sur une largeur assez grande pour recevoir les talus, banquettes, contre-fossés, etc., les frais d'entretien et de curage, peuvent faire disparaître en partie l'économie que paraît présenter à priori la rigole en terre sur l'aqueduc maçonné.

Quoi qu'il en soit, dans certaines circonstances, les rigoles peuvent être utilisées avec avantage : citons, par exemple, le cas d'alimentation des réserves d'eau obtenues par le barrage des vallées, où l'eau se clarifiant par le repos, peut être reçue sans inconvénient quoique chargée des troubles dus à son écoulement dans des canaux en terre.

Parmi les applications les plus connues on peut mentionner le New-River à Londres, le beau canal exécuté en vertu de la loi du 4 juillet 1838 par M. de Montricher, pour l'alimentation de Marseille, qui emprunte à la Durance 5^{mc}, 75 par seconde et n'a pas moins de 81.754 mètres de longueur, enfin les rigoles qui dépendent du système des étangs de Versailles.

Le plus souvent les rigoles reçoivent la section type des canaux, de la forme d'un trapèze, avec plafond horizontal et talus plus ou moins inclinés suivant la nature du terrain. Leur pente varie de $0^m,05$ à $0^m,70$ par kilomètre, la vitesse de l'eau de $0^m,30$ à $0^m,60$ sans revêtement des berges, et de $0^m,70$ à $1^m,20$ avec revêtement.

Quand une rigole est taillée dans le roc compact et résistant, les parois peuvent être tenues verticales; la section devient alors rectangulaire et rien n'empêche d'admettre des vitesses supérieures à $1^m,20$: ce cas n'est

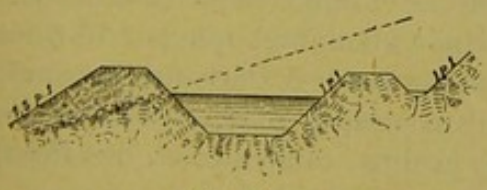


Fig. 61.

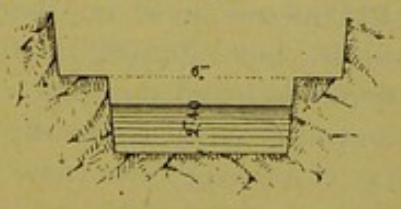


Fig. 62.

pas rare dans les pays de montagnes. Il se rencontre dans certaines sections du canal de la Durance, bien que la section normale de ce canal

soit trapézoïdale, avec 3 mètres de largeur au fond, 7 mètres à la ligne d'eau et 2 ,40 de profondeur : sa pente générale est de $0^m,33$ par kilomètre.

Souvent les parois reçoivent un revêtement sur une certaine hauteur seulement, au voisinage de l'eau, afin d'y protéger les terres contre les corrosions résultant de l'agitation superficielle. Parfois, lorsque les rigoles sont tracées à flanc de côteau, le côté en remblai est formé par un mur en maçonnerie, avec ou sans talus en terre : le premier cas se rencontre sur le parcours du canal de Marseille.

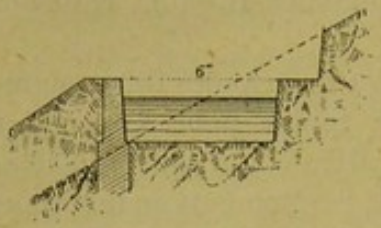


Fig. 63.

Des *fossés* ou des *drains* sont fréquemment disposés sur l'un des côtés de la rigole pour recevoir et détourner les eaux de superficie dont le mélange avec l'eau dérivée pourrait avoir des conséquences fâcheuses.

180. Canaux d'amenée servant à la navigation. — Les grandes dimensions qu'on est obligé de donner aux rigoles en terre, lorsque sous une pente assez faible elles doivent amener des quantités d'eau un peu considérables, ont dû naturellement suggérer l'idée de les utiliser en même temps pour la navigation. Mais il est rare que les circonstances se prêtent à l'adoption de cette combinaison mixte, peu recommandable d'ailleurs, puisque la navigation vient ajouter une cause de contamination de plus à toutes celles auxquelles l'eau est déjà exposée dans les canaux en terre.

Le canal de l'Ourcq en fournit un exemple remarquable. Créé pour amener à Paris 80.000 mètres cubes par 24 heures d'eau dérivée de la rivière de l'Ourcq et de quelques autres affluents de la Marne, il n'en fournit pas moins de 130.000 aujourd'hui, à la cote 52, soit 25 mètres au-dessus du niveau de la Seine : d'autre part, il dessert une navigation assez active, qui s'effectue au moyen de bateaux spéciaux dits *flûtes* d'Ourcq, de 28 mètres de longueur, 3 mètres de largeur, et d'une capacité de 50 tonnes ; et, de plus, il assure l'alimentation des canaux Saint-Denis et Saint-Martin. Sa longueur est de 107,914 mètres, avec une pente totale de $15^m,35$, rachetée tant par la pente des biefs ($0^m,0625$ à $0^m,12366$ par kilomètre) que par 10 écluses de $0^m,60$ à $1^m,80$ de chute. Les eaux amenées à Paris par le canal de l'Ourcq sont exclusivement affectées aux usages publics et industriels, lavage et arrosage des rues, cours et jardins, alimentation des lavoirs, machines à vapeur, etc.

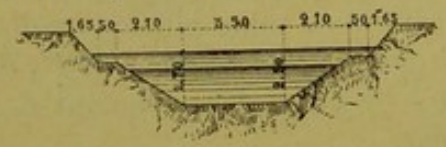


Fig. 64. — Section du canal de l'Ourcq.

A plusieurs reprises, on a proposé de recourir encore une fois à un ouvrage de ce genre pour compléter l'alimentation de Paris : un canal navigable à grande section y amènerait une quantité d'eau considérable

empruntée à la Loire, en suivant un tracé qui permettrait d'aboutir sur les coteaux au sud de Paris à la cote 70, soit 43 mètres au-dessus du niveau de la Seine. Malgré plusieurs études sérieuses, dont l'une avait en même temps pour objet l'irrigation de la Beauce, ce projet n'a pas abouti ; la dépense en serait considérable et il ne fournirait qu'une eau de qualité médiocre bien que peu minéralisée.

181. Rigoles en maçonnerie. — On évite une partie des inconvénients des rigoles en terre en leur substituant des aqueducs maçonnés : la pousse des herbes, la corrosion et l'éboulement des berges n'y sont plus à redouter; l'écoulement y est meilleur, le débit plus grand pour une même section, le curage insignifiant.

La section transversale n'ayant plus nécessairement la forme d'un trapèze ou d'un rectangle, il convient de choisir celle qui, pour un même périmètre mouillé, donne la plus grande surface d'écoulement. Or, si l'on représente par 1 la vitesse que prendra l'eau dans une section rectangulaire dont la hauteur est le double ou le huitième de la base, on trouve que

Dans le *carré* équivalent	la vitesse sera	.....	1,07
— *double carré*	—	—	1,09
— *demi-hexagone*	—	—	1,13
— *demi-cercle*	—	—	1,15

ce qui fait ressortir la supériorité de la section demi-circulaire.

Mais l'absence de couverture laisse l'eau exposée aux contaminations par les poussières, les insectes, etc., aux variations de température aussi ; la maçonnerie souffre souvent, par suite de la gelée, au voisinage de la ligne d'eau ; enfin, la dépense devient beaucoup plus considérable et se rapproche sensiblement de celle occasionnée par la construction des aqueducs couverts, qui doivent alors être préférés.

§ 3.

AQUEDUCS COUVERTS.

182. Leurs avantages. — Dans un aqueduc couvert, l'eau est garantie contre les contaminations du dehors, les eaux superficielles, le développement des végétaux ou des insectes, la chaleur et le froid, contre la malveillance même, pour peu que l'on prenne les précautions convenables.

La constance de la température y est obtenue à la seule condition que le dessus de la couverture soit à une profondeur suffisante au-dessous du sol, $0^m,80$ à 1 mètre dans nos pays, 2 mètres sous un climat plus froid. Les eaux de la Dhuis et de la Vanne conservent à 1 degré près leur

température initiale, après des parcours de 130 et 170 kilomètres, aussi bien pendant les grandes chaleurs de l'été que pendant les froids les plus vifs de l'hiver, de sorte qu'elles arrivent aux réservoirs sans avoir perdu la fraîcheur qu'elles présentent aux sources mêmes. Le même résultat a été constaté sur la dérivation de Francfort, après un parcours de 82 kilomètres.

La composition de l'eau ne paraît point s'altérer par un écoulement prolongé dans un aqueduc en maçonnerie; elle ne se charge pas de chaux si elle est naturellement douce, et. pour peu qu'elle soit incrustante, elle dépose sur toute la surface mouillée une couche de tartre solide et adhérent qui supprime tout contact direct avec les parois.

Le prix d'établissement des aqueducs n'est d'ailleurs pas trop élevé lorsqu'on leur donne une section de forme rationnelle, étudiée de manière à réduire au minimum les cubes de déblai et de maçonnerie. En effet, une galerie souterraine, nécessairement maintenue par le sol naturel dans lequel elle est placée, ne peut pas se renverser à l'extérieur; et, pour peu qu'on donne à la voûte assez de flèche pour rendre très faible la poussée aux naissances, on arrive aisément a obtenir, même avec une épaisseur de maçonnerie très réduite, l'équilibre entre la poussée et la pression extérieure des terres, telle qu'elle s'exerçait sur le massif que la galerie remplace. C'est, en somme, une espèce de tuyau auquel il convient de donner une épaisseur variable avec le diamètre, mais toujours médiocre et à peu près constante sur tout le périmètre.

183. Section transversale des aqueducs couverts. — On doit rechercher, pour les aqueducs couverts comme pour les rigoles, la section, qui présente le plus fort rayon moyen, ou, en d'autres termes, celle qui, pour un périmètre donné, offre la plus grande section d'écoulement; il faut en même temps se proposer de réduire au minimum la poussée exercée sur les terres.

La forme circulaire répond mieux que toute autre à cette double condition, car, d'une part, une voûte en plein cintre ne donne pas de réaction horizontale aux naissances, et, d'autre part, on peut admettre que la figure correspondant au rayon moyen maximum est le segment de cercle qui a pour corde le côté du triangle équilatéral inscrit [1].

Fig. 65.

Dans certains cas, cependant, on peut être conduit à préférer au cercle une autre forme qui présente quelque avantage à d'autres points de vue. C'est ce qui arrive notamment lorsqu'on veut donner à l'aqueduc une section qui permette la circulation d'un homme debout, et que le cercle calculé pour le débit

1. En réalité, le maximum, d'après König et Poppe, correspond au cas où l'arc mouillé est de 257° 27′ 13″, tandis que la règle pratique donnée ci-dessus suppose un arc de 240° seulement. Il est supérieur d'un cinquième environ au rayon moyen du cercle plein ou du demi-cercle.

nécessaire ne présenterait qu'une hauteur insuffisante : la forme *ovoïde* est alors la forme la plus favorable, car elle se prête aisément à une augmentation de hauteur, tout en conservant, soit pour l'écoulement, soit pour la poussée, les avantages de la forme circulaire. Le profil se compose alors d'une demi-circonférence supérieure qui constitue l'intrados d'une voûte en plein cintre, et d'un arc circulaire inférieur raccordé à la demi-circonférence par deux arcs de grand rayon. Le plus souvent le rayon de l'arc inférieur est plus petit que celui de la demi-circonférence supérieure, l'œuf présente son petit bout vers le bas : cette disposition a en effet l'avantage de permettre d'appuyer les maçonneries des piédroits sur les parois de la fouille, plus étroite au fond qu'au sommet. Mais, si le volume d'eau à écouler est considérable, il peut devenir avantageux d'adopter la disposition inverse, de placer en bas le gros bout de l'œuf, afin d'augmenter la section mouillée, tandis que vers le haut il suffit d'avoir une largeur suffisante pour le passage des épaules de l'homme chargé de la visite.

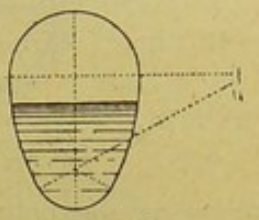


Fig. 66.

Les aqueducs anciens ne présentent pas ces formes rationnelles ; presque toujours le radier est plat, les piédroits sont verticaux, et par suite les épaisseurs données aux maçonneries considérables. Quelquefois on s'est proposé d'y rendre la circulation possible, même pendant l'écoulement de l'eau, et l'on a disposé à cet effet, à côté de la *cunette* destinée à recevoir l'eau, une *banquette* spéciale, ce qui oblige à relever la voûte de manière à laisser une hauteur suffisante au-dessus de la banquette et conduit à des sections énormes pour un volume insignifiant : c'est évidemment un luxe inutile et auquel on doit renoncer, à moins qu'on ne se trouve dans quelque circonstance exceptionnelle, comme il peut arriver par exemple dans le cas du percement d'un souterrain, où la section minima est évidemment celle qui permet le travail d'un homme.

Un aqueduc circulaire ou ovoïde en déblai peut être exécuté avec une épaisseur très faible de maçonnerie, pour peu que le terrain soit de consistance moyenne, et réduite à celle d'une simple chape s'il est solide et compact ; les épaisseurs doivent être augmentées lorsque l'aqueduc est en relief, la base élargie lorsque le sol est meuble ou compressible.

184. Types d'aqueducs couverts. — Les sections des aqueducs de la Dhuis et de la Vanne, construits par Belgrand pour l'alimentation de Paris, sont conformes aux indications théoriques qui précèdent. Celle de l'aqueduc de la Dhuis est ovoïde, plus large vers le bas que vers le haut, sa hauteur est de $1^m,76$ et sa largeur maxima de $1^m,40$; l'épaisseur uniforme des maçonneries ne dépasse pas $0^m,18$. L'aqueduc de la Vanne présente une section circulaire de $2^m,10$ de diamètre intérieur, l'épaisseur des maçonneries est de $0^m,20$ seulement aux extrémités du

diamètre vertical et de 0m,28 à celles du diamètre horizontal ; les collecteurs secondaires ont reçu aussi la forme circulaire, mais avec un diamètre intérieur de 1m,80, 1m,70, 1m,60 et des épaisseurs proportionnées.

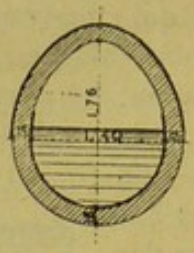


Fig. 67. — Dhuis.

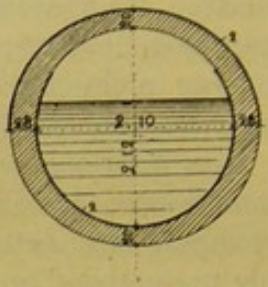


Fig. 68. — Vanne.

Ce sont d'excellents types à suivre pour la construction de grands aqueducs dans des terrains ordinaires.

Pour les petits aqueducs non visitables la meilleure forme est celle d'un tuyau cylindrique, auquel on donne une résistance plus que suffisante avec des épaisseurs extrêmement faibles. Ainsi l'on a obtenu dans la vallée de la Vanne d'excellents résultats pour la confection de petits aqueducs, destinés à conduire l'eau des sources secondaires aux collecteurs, avec des tuyaux en béton moulés par bouts de 0m,60 à 1 mètre, et qui pour 0m,30 à 0m,35 de diamètre intérieur ont reçu seulement 0m,03 ou 0m,04 d'épaisseur. Les tuyaux en poterie de grès réussissent fort bien avec des épaisseurs beaucoup plus faibles encore, pourvu qu'ils soient recouverts de 0m,80 à 1 mètre de terre.

Fig. 69.

Ces types sont tout récents ; ils n'ont été adoptés en France que depuis l'époque, encore bien peu éloignée, où Dupuit a posé les principes qui doivent présider à la construction des aqueducs couverts et que nous avons résumés plus haut. Ils sont encore assez peu répandus à l'étranger ; cependant, aux Etats-Unis d'Amérique, on a donné une forme ovoïde, analogue à celle de l'aqueduc de la Dhuis, à la conduite

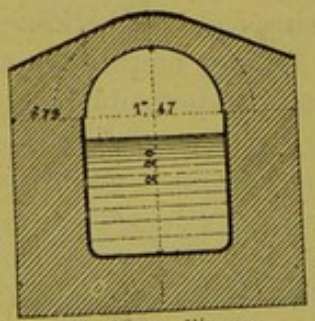


Fig. 70. — Vienne.

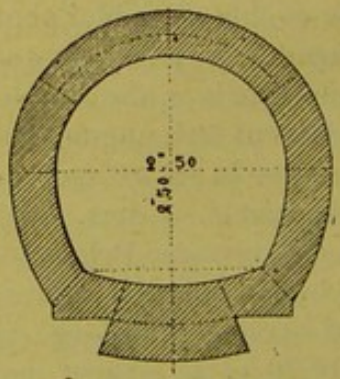


Fig. 71. — Loch Katrine.

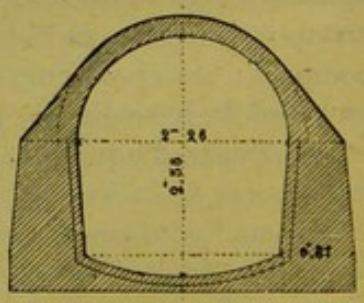


Fig. 72. — Croton.

qui amène à Boston les eaux du lac Cochituate (hauteur 1m,93, diamètre maximum 1m,52, épaisseur 0m,23); l'aqueduc du Potomac, qui alimente

Washington, a reçu comme celui de la Vanne la forme circulaire (diamètre $2^{m},75$), et c'est encore avec une section circulaire, qui n'a pas moins de $3^{m},80$ de diamètre, que vient d'être projeté le nouvel aqueduc du Croton (New-York) ; l'aqueduc de Naples, achevé en 1885, a reçu également, dans certaines parties, une section circulaire, de 2 mètres de diamètre. Mais celui de Vienne (Autriche), qui n'a été mis définitivement en service que dans le courant de 1875, présente encore une section à piédroits verticaux et radier plat, avec des épaisseurs de maçonnerie considérables ; celui de Loch Katrine, qui alimente Glasgow et qui remonte à 1856-59, a une forme plus satisfaisante sans doute mais encore une épaisseur trop grande et l'on y retrouve le radier plat ; le premier aqueduc du Croton, construit en 1838 pour la ville de New-York (Etats-Unis) a bien une voûte assez mince en plein cintre, mais un radier aplati et des piédroits fort épais.

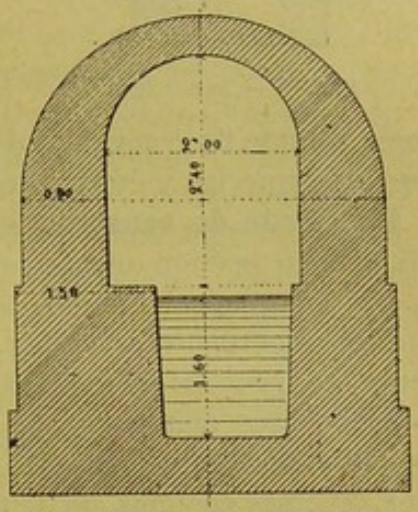


Fig. 74. — Aqueduc de ceinture à Paris.

Longtemps l'aqueduc du Rosoir, construit par Darcy en 1839 pour l'alimentation de la ville de Dijon, a été cité comme un modèle, malgré l'épaisseur exagérée donnée aux maçonneries. L'aqueduc de ceinture, à Paris, qui conduit les eaux de l'Ourcq du bassin de la Villette au réservoir Monceau, et qui a été construit de 1808 à 1816, a été, à juste titre, l'objet des critiques de Dupuit : le volume des maçonneries y est considérable.

Fig. 73. — Dijon.

Ces types étaient la reproduction améliorée de ceux des aqueducs

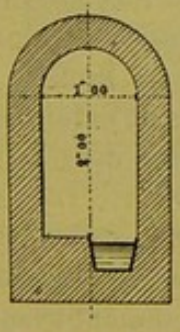


Fig. 75. — Montpellier.

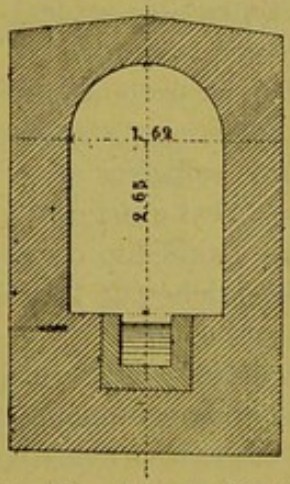


Fig. 76. — Aqueduc d'Arcueil.

construits au XVII^{e} et au XVIII^{e} siècles, où d'énormes sections ont été employées pour l'amenée de très petites quantités d'eau ; l'aqueduc

d'Arcueil, qui remonte à l'époque de Louis XIII, celui de Montpellier, qui a fait au cours du siècle dernier la réputation de Pitot, en fournissent des exemples.

Les anciens aqueducs romains avaient des sections du même genre,

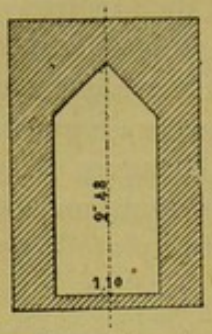


Fig. 77. — Anio vetus.

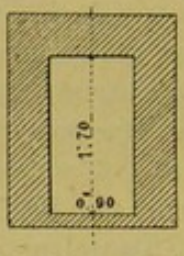


Fig. 78. — Marcia.

Fig. 79. — Virgo.

mais comme ils recevaient des volumes d'eau considérables, l'utilisation des maçonneries y était poussée bien plus loin en réalité.

185. Mode de construction des aqueducs. — Les aqueducs couverts de grande section ont de tout temps été exécutés en maçonnerie ; on y a fait en général emploi des matériaux trouvés au voisinage du tracé ou des plus répandus et des plus usités dans la région. Au fur et à mesure des progrès réalisés dans les constructions hydrauliques, on y a consacré des matériaux de plus en plus petits : la pierre de taille, le moellon, la brique ont été successivement employés par les Romains aux diverses époques de leur histoire ; et, dans les temps modernes, on a commencé encore par la pierre de taille, que l'on trouve aux aqueducs d'Arcueil, de Montpellier, etc., pour passer ensuite aux moellons appareillés, puis aux moellons bruts, aux briques et même au béton.

La fabrication des ciments a favorisé cette transformation. Les ciments présentent, en effet, pour la construction des aqueducs des avantages incontestables ; leur grande résistance permet de réduire les épaisseurs des maçonneries, leur prise rapide facilite le décintrement des voûtes, et ils se prêtent merveilleusement à la confection des enduits. Les mortiers de ciment s'allient mieux avec les matériaux siliceux qu'avec les moellons calcaires et on recherche en conséquence les premiers de préférence ; c'est ainsi qu'on a utilisé la meulière de la Brie à la construction de l'aqueduc de la Dhuis et de la partie de celui de la Vanne la plus rapprochée de Paris, le grès et le silex dans d'autres parties de ce dernier aqueduc.

Les maçonneries ne sont pas étanches en général, celles hourdées au mortier de ciment moins encore que les autres, car le dosage en est tel d'ordinaire que les vides du sable y sont incomplétement remplis : pour empêcher qu'elles ne laissent échapper au dehors les eaux à écouler dans l'aqueduc, ou pénétrer à l'intérieur les eaux superficielles, on les recouvre d'ordinaire d'un enduit sur le périmètre mouillé et d'une

chape sur l'extrados de la voûte. Les Romains ont connu les enduits et l'on en retrouve des traces non équivoques dans leurs aqueducs les plus récents, au pont du Gard, à Sens, etc., mais l'usage s'en est perdu, et les aqueducs modernes en pierre de taille en étaient dépourvus ; aussi l'étanchéité y laissait-elle si fort à désirer qu'on a dû revêtir d'une lame de plomb la cuvette de l'aqueduc de Montpellier [1].

Le béton gras, exécuté avec soin et suffisamment comprimé, peut être rendu étanche sans enduit, même sous une faible épaisseur ; grâce à cette propriété, il est appelé à rendre des services pour la confection des petits aqueducs. Deux procédés peuvent être appliqués pour l'emploi du béton : tantôt on le coule dans la fouille autour de tambours en bois ou en tôle, qu'on fait avancer peu à peu au fur et à mesure de la prise, de manière à obtenir des conduits monolithes, sans joints sur toute la longueur ; tantôt on prépare d'avance des bouts de tuyaux moulés dans des moules à charnières en bois ou en tôle, et on les assemble dans la fouille en formant le joint au moyen d'un bourrelet de béton ou de mortier qui enveloppe les abouts, soit droits, soit à emboîtements mâle et femelle, de deux tuyaux successifs ; un outil en bois, introduit à l'intérieur pendant la confection du joint, empêche les bavures.

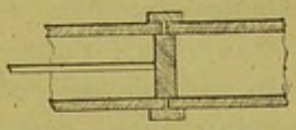


Fig. 80.

Le premier procédé est le plus recommandable, mais il exige une main-d'œuvre extrêmement soignée et par suite une surveillance assidue ; le second est d'une application plus facile et se prête mieux pour les petits aqueducs à l'adoption de très faibles épaisseurs. Belgrand n'a pas hésité à recourir au béton Coignet pour la construction de l'aqueduc de la Vanne dans toute la traversée de la forêt de Fontainebleau, où les matériaux faisaient défaut, et, malgré les grandes dimensions de l'ouvrage, ce béton de sable et ciment a donné des résultats satisfaisants.

Les aqueducs en maçonnerie sont d'ordinaire recouverts au moyen de *voûtes*. On trouve cependant un certain nombre d'anciens aqueducs dont

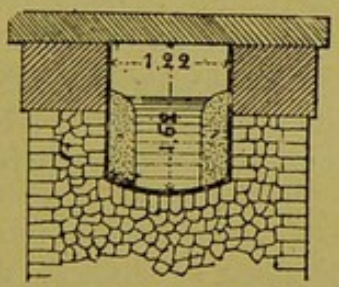


Fig. 81. — Pont du Gard.

Fig. 82. — Aqueduc de Montpellier.

la couverture est formée par des *dalles ;* nous citerons le pont du Gard parmi les aqueducs romains, l'aqueduc de Montpellier parmi les ou-

1. On vient d'étancher par le même procédé l'aqueduc d'Arcueil (dérivation de la Vanne), dont l'enduit s'était fissuré en même temps que les maçonneries, par suite de tassements dans les fondations.

vrages modernes ; mais les dalles coûtent cher dès que les dimensions sont un peu grandes, et on ne les emploie plus que dans des cas tout à fait exceptionnels. Pour protéger la couverture contre les intempéries et contre les chocs qui pourraient en provoquer la dislocation, on la recouvre presque toujours d'une couche de terre de $0^m,80$ à 1 mètre d'épaisseur ; c'est une excellente garantie contre les effets des variations de température, et à laquelle il est bon de recourir aussi bien pour les aqueducs en relief que pour ceux en tranchée.

Lorsque cette précaution a été prise, l'entretien des aqueducs en maçonnerie de ciment se réduit à fort peu de chose ; les enduits s'y conservent et les réparations y sont rarement nécessaires. Mais, lorsque les maçonneries ne sont pas enveloppées de terre, il ne tarde pas à s'y produire des fissures d'où résultent des pertes d'eau, et qui peuvent amener à la longue la ruine de l'ouvrage ; les aqueducs de l'ancienne Rome ont dû être restaurés à maintes reprises pour y rétablir l'écoulement de l'eau, qui se perdait sur le parcours, par suite de la dislocation des maçonneries plus ou moins hâtée par les entreprises des riverains. Les eaux très calcaires déterminent la formation d'un dépôt adhérent sur les parois des aqueducs ; on trouve des incrustations de grande épaisseur dans les aqueducs romains ; à la rigueur, dans les aqueducs visitables, il serait possible de procéder à l'enlèvement de ces dépôts s'ils devenaient gênants, mais dans les petits aqueducs on ne saurait y songer, et c'est un motif pour éviter, si faire se peut, l'adduction des eaux incrustantes, qui ont d'ailleurs plus d'un inconvénient.

Les tuyaux en *poterie* ou en *grès* sont parfois utilisées pour l'établissement d'aqueducs de très petite dimension. On les fait soit à emboîtement, soit droits ; dans ce dernier cas le joint s'exécute au moyen d'un

Fig. 83.

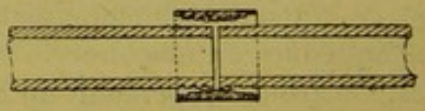


Fig. 84.

manchon. Ils sont reliés entre eux à l'aide d'un coulis de ciment. Les conduites ainsi obtenues sont lisses, l'écoulement s'y fait bien ; mais elles sont très fragiles, point élastiques, et demandent à être efficacement protégées contre les chocs et les variations de température.

§ 4.

CONDUITES FORCÉES

186. Amenée d'eau en pression. — Les conduites forcées présentent au point de vue de la préservation des qualités de l'eau les mêmes avan-

tages que les aqueducs libres couverts ; elles la protègent également contre l'action de la lumière, les variations de température, les contaminations possibles. D'autre part, elles offrent de grandes facilités de tracé et d'établissement, et permettent souvent de diminuer les longs parcours qu'imposeraient les aqueducs libres ; ainsi d'Uzès à Nîmes la conduite forcée a 20 kilomètres de longueur, tandis que l'aqueduc romain qui reliait les deux mêmes points n'en avait pas moins de 50 ; de même à Rome l'antique Marcia, rétablie en 1870 sous le nom de Pia, n'a plus qu'un parcours de 52 kilomètres, dont certaines parties en conduite forcée, au lieu des 91 kilomètres qu'elle avait à l'origine.

Mais la pression, qui s'exerce à l'intérieur des conduites forcées, oblige à y employer soit des épaisseurs plus grandes, soit des matériaux plus résistants. D'autre part, le frottement de l'eau se produisant sur tout le périmètre y détermine une perte de charge plus considérable que dans les conduites libres, de telle sorte que l'on n'y obtient qu'une vitesse et un débit moindre pour une même section. Pour l'un et l'autre motif la dépense au mètre courant est donc plus grande pour la conduite forcée que pour l'aqueduc libre.

Puis la conduite forcée est plus fragile, plus exposée aux ruptures, à cause des pressions intérieures qu'elle supporte. Presque toujours formée d'une file de tuyaux, elle présente aux joints des points faibles ; le moindre tassement la disloque. Et, comme une rupture arrête immédiatement le service, on n'obtient une sécurité réelle qu'en dédoublant la conduite et la composant de deux files de tuyaux parallèles et suffisamment éloignées l'une de l'autre, ce qui augmente encore de 50 pour 100 au moins la dépense de premier établissement.

Sans doute, quelle que soit la dépense par mètre, elle peut être compensée pour l'ensemble par des abréviations de parcours, par la suppression de certains ouvrages en relief au-dessus du sol, et il peut y avoir économie à remplacer une conduite libre par une conduite forcée. Mais en général, lorsqu'on a le choix, la conduite libre est plus avantageuse, et il convient presque toujours de réserver l'emploi des conduites forcées pour le cas où la ligne de charge se trouve à une grande hauteur au-dessus du sol.

187. Matériaux employés. — Les conduites forcées s'exécutent le plus habituellement en tuyaux de fonte. Mais on en a construit avec beaucoup d'autres matériaux.

Le *bois* y a été employé quelquefois. On cite une grosse conduite en bois de $1^{m},20$ qui amène à Toronto l'eau captée dans une île du lac Ontario (Canada).

La *poterie* peut servir à l'exécution de conduites de petit diamètre et supportant de faibles pressions, mais sa fragilité la rend peu propre à cet usage.

La maçonnerie et surtout le béton sont préférables, et l'on en a fait

de nombreuses applications : c'est par une conduite en béton de $1^m,30$ de diamètre que l'eau de la Vanne pénètre dans Paris, au sortir du réservoir de Montrouge ; à la Lauvière, le canal du Verdon présente une conduite forcée en maçonnerie de $2^m,30$ de diamètre.

Le *plomb*, seul métal qui ait été appliqué par les Romains à la confection des conduites forcées, n'a pas assez de résistance pour que l'emploi en soit économique dès que le diamètre est un peu considérable. Aussi, bien que l'usage du plomb soit presque général pour l'établissement des petites conduites de distribution, ne s'étend-il pas à l'établissement de conduites de diamètre supérieur à $0^m,06$ ou 0^m08, à moins de cas tout spéciaux, où ce métal présente sur le fer quelque avantage particulier.

La *fonte* s'emploie en tuyaux moulés de $2^m,50$ à 4 mètres de longueur utile, presque toujours à *emboîtement* : les joints sont faits à la corde goudronnée et au plomb. Beaucoup d'autres modes de jonction ont été imaginés et peuvent s'appliquer aux conduites forcées en fonte aussi bien qu'aux conduites de distribution, — nous donnerons quelques détails à ce sujet dans un chapitre ultérieur [1] — mais aucun n'a supplanté le joint à emboîtement qui est de beaucoup le plus répandu. On fabrique des tuyaux en fonte de tous les diamètres, depuis $0^m,03$ jusqu'à $1^m,30$: la dimension de $1^m,30$, récemment atteinte en France, ne paraît pas encore avoir été dépassée nulle part dans la fabrication courante.

Quand on a besoin d'aller au delà, on peut recourir aux tuyaux en *tôle*, que rien n'empêche d'exécuter sur des dimensions quelconques et qui présentent l'avantage de pouvoir former au besoin des conduites rigides de grande longueur. Ces tuyaux l'emportent sur ceux en fonte dans certains cas spéciaux, par exemple lorsqu'il s'agit de franchir d'une seule portée un ravin ou un cours d'eau. On les emploie soit nus, soit enveloppés de bitume, de béton ou de maçonnerie.

§ 5.

TRAVERSÉE DES VALLÉES

188. Arcades. — Lorsque le tracé d'une rigole ou d'un aqueduc rencontre une vallée, l'idée qui se présente le plus naturellement à l'esprit, pour franchir cet obstacle, est de supporter l'ouvrage dans la traversée de la vallée par une substruction dans laquelle on pratique, s'il y a lieu, des ouvertures pour le passage des routes et des cours d'eau.

Les longues séries d'arcades, qui sillonnent la campagne romaine, s'y entre-croisent, s'y superposent, dont l'aspect monumental n'a pas peu

1. Voir chapitre XII.

contribué à faire la grande réputation des hydrauliciens de l'ancienne Rome, étaient des substructions de ce genre, destinées à prolonger

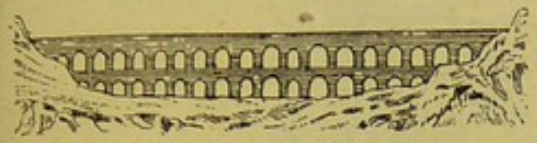


Fig. 85. — Arcades de San Giovanni.

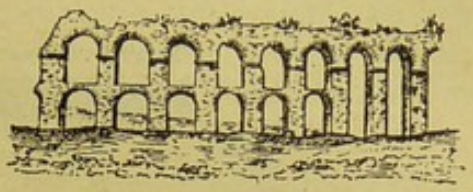


Fig. 86. — Arcades d'Hadriana.

jusqu'aux portes de la Ville éternelle les aqueducs qui y versaient en si grande abondance l'eau recueillie dans l'Apennin. On les retrouve dans tout le monde romain, et le pont du Gard, qui portait l'aqueduc

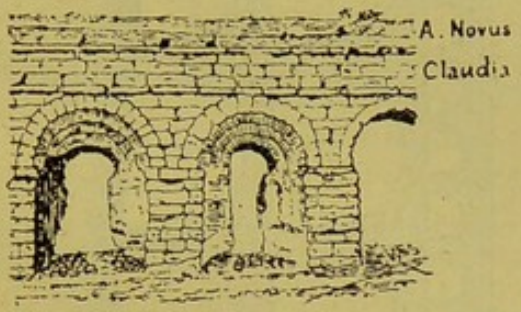


Fig. 87. — Arcades de Claudia et d'Anio novus.

consacré à l'alimentation de la ville de Nîmes (*fig.* 89), est un bel exemple devenu classique de ces monuments gigantesques dont les ruines subsistent encore et n'ont pas cessé d'exciter une admiration méritée.

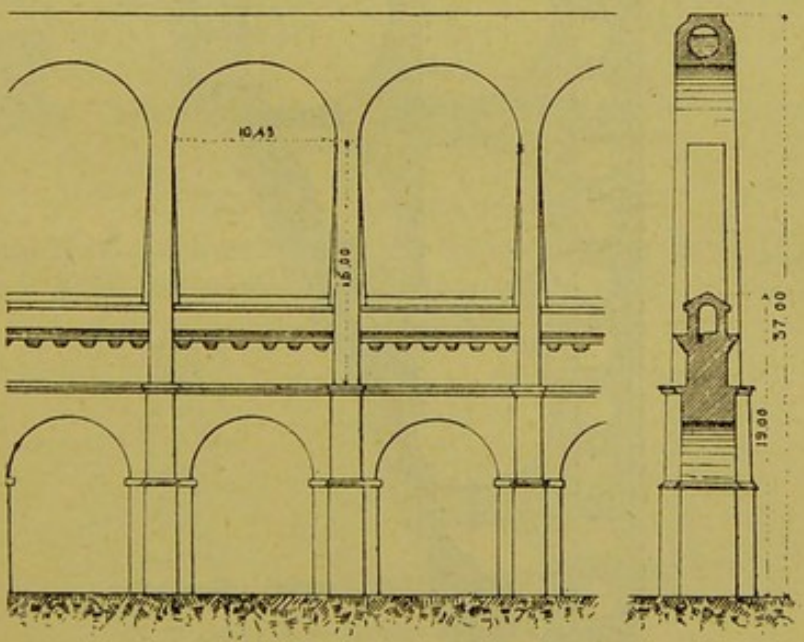


Fig. 88. — Aqueduc d'Arcueil.

Souvent, dans la construction des aqueducs modernes, on a pris

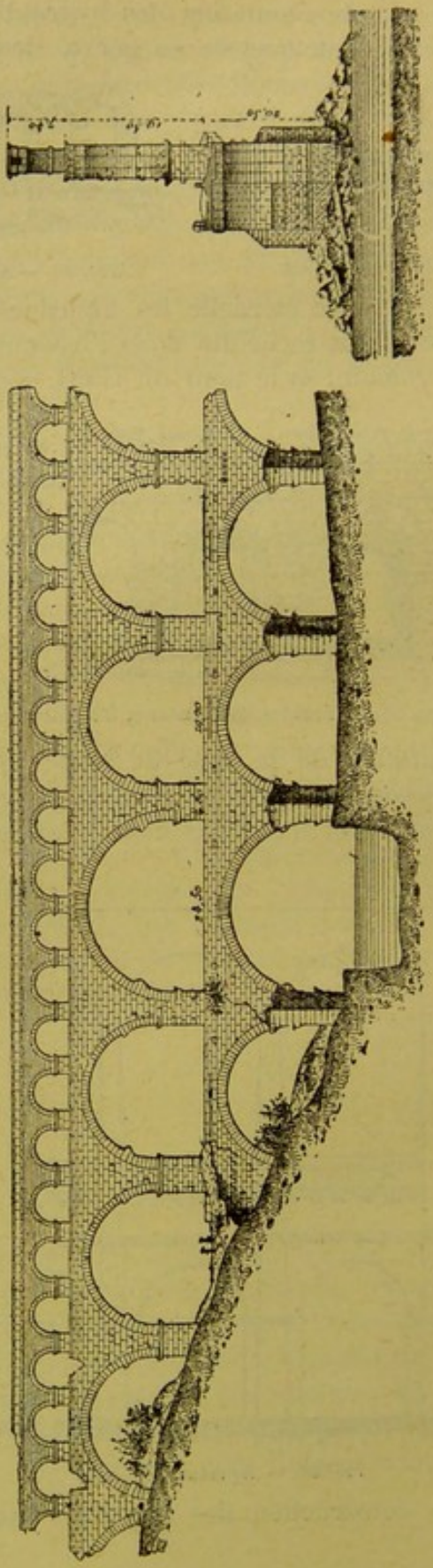


Fig. 89. — Pont du Gard.

pour types les beaux ouvrages des Romains. Nous ne citerons que pour mémoire les lourdes masses des aqueducs de Marly et de Buc qui portent à Versailles les eaux de la Seine et celles des étangs, de l'aqueduc de Maintenon commencé par Vauban pour y amener celles de l'Eure. Mais l'aqueduc d'Arcueil établi par Marie de Médicis aux portes

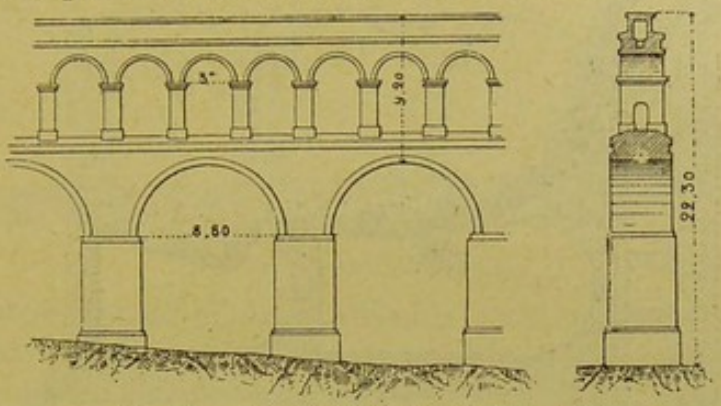


Fig. 90. — Aqueduc du Peyrou (Montpellier).

de Paris, sur les ruines de l'aqueduc des Thermes de l'empereur Julien et surmonté lui-même aujourd'hui par l'aqueduc de la Vanne (*fig.* 88), l'aqueduc du Peyrou à Montpellier (Pitot, 1752), l'aqueduc de Roquefavour sur le canal de Marseille (de Montricher, 1842), qui n'a pas moins de 393 mètres de longueur et 82 mètres 65 de hauteur (*fig.* 93), peuvent soutenir la comparaison avec ceux que nous a légués le monde antique.

Les nombreuses arcades de la dérivation de la Vanne (Belgrand, 1868-

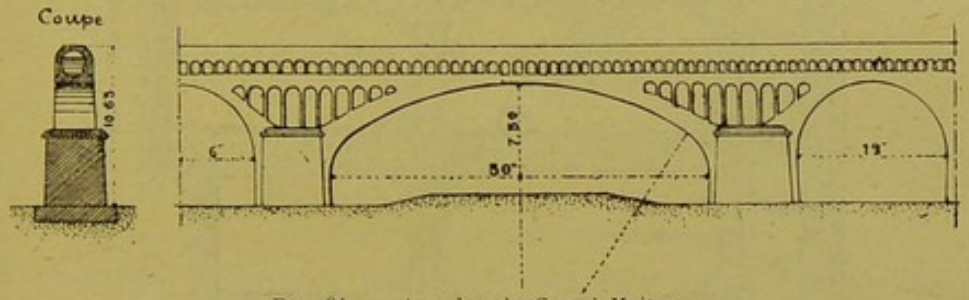


Fig. 91. — Arcades du Grand Maitre.

1874) dont nous donnons ci-contre deux spécimens, et qui ne mesurent pas moins de 16.600 mètres de longueur totale, sont dignes aussi d'une

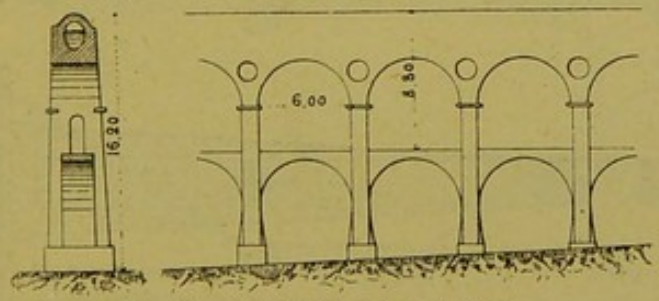


Fig. 92. — Arcades de Pont-sur-Yonne.

mention, de même que celles de la dérivation François-Joseph entre le Semmering et Vienne (Autriche).

Mais, Dupuit l'a dit, si l'on doit *admirer* ces ouvrages, il faut autant

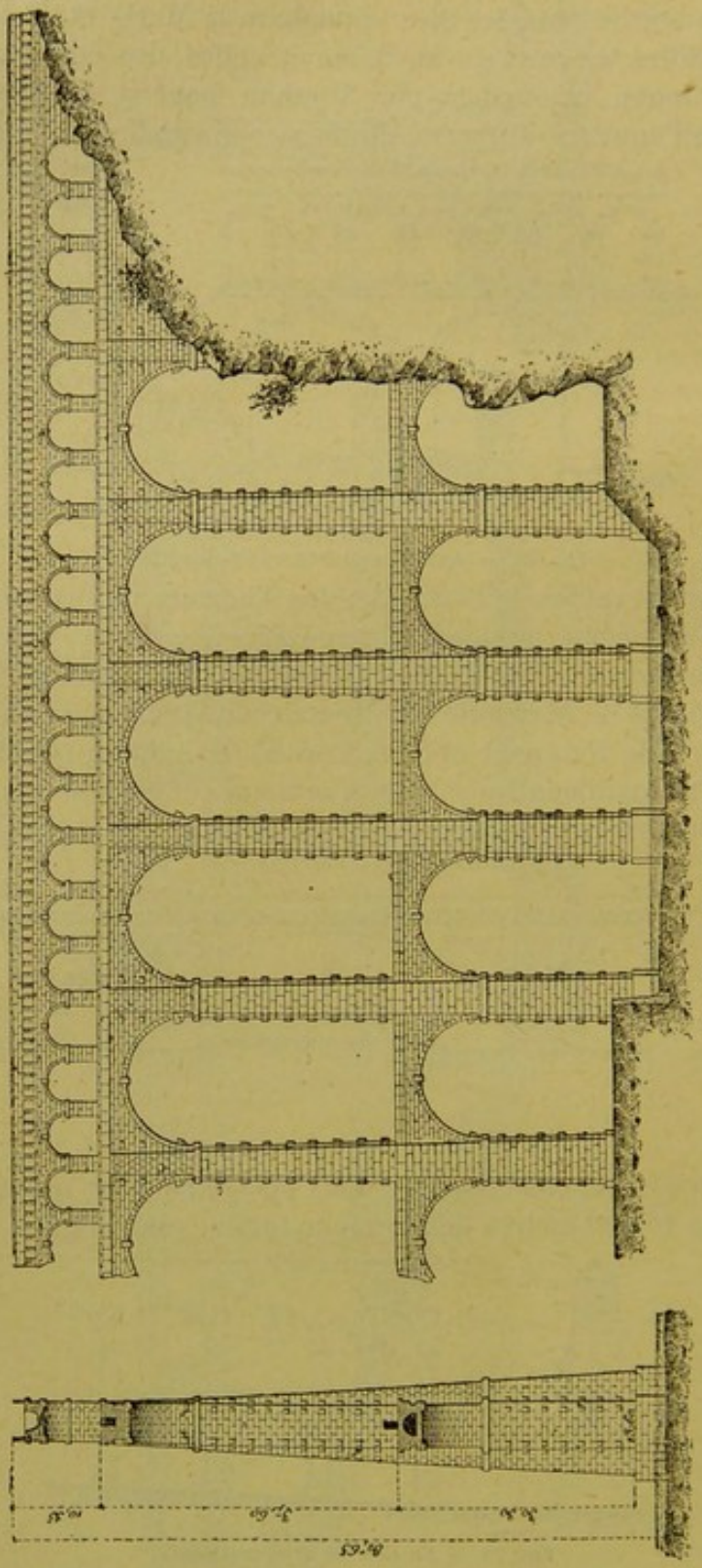


Fig. 93. — Aqueduc de Roquefavour (Marseille).

que possible ne pas les *imiter*, car ils coûtent fort cher, et l'on dispose aujourd'hui de moyens plus économiques pour faire passer un aqueduc

au travers d'une vallée. Le prix des arcades croît rapidement avec la hauteur, tandis que celui des siphons reste à peu près constant, quelle que soit la profondeur de la vallée ; on peut poser des files de tuyaux dans une direction quelconque, tandis que l'établissement d'arcades de

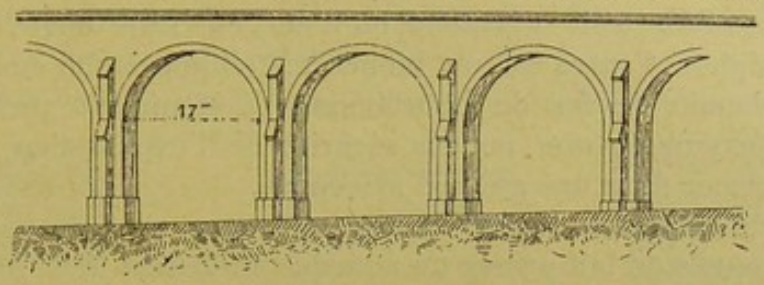


Fig. 94. —Arcades de Mödling.

grande hauteur suppose le choix préalable d'un emplacement approprié que l'on n'atteint pas sans d'assez longs détours quelquefois. Il faut donc, pour motiver l'emploi des arcades, ou une hauteur très faible qui en restreint la dépense, ou quelque motif impérieux, comme l'obligation imposée à Belgrand pour la dérivation de la Vanne d'écouler une quantité d'eau considérable avec une pente extrêmement réduite.

189. Ponts-Aqueducs. — La conclusion qui précède n'est pas appli-

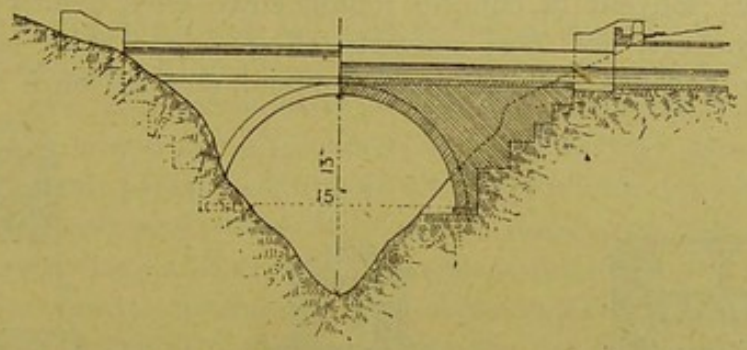


Fig. 95. — Pont-aqueduc de Blaircairn.

cable au cas où la distance à franchir est très faible : le siphon perd alors une partie de ses avantages, car il ne va pas sans pertes de charge

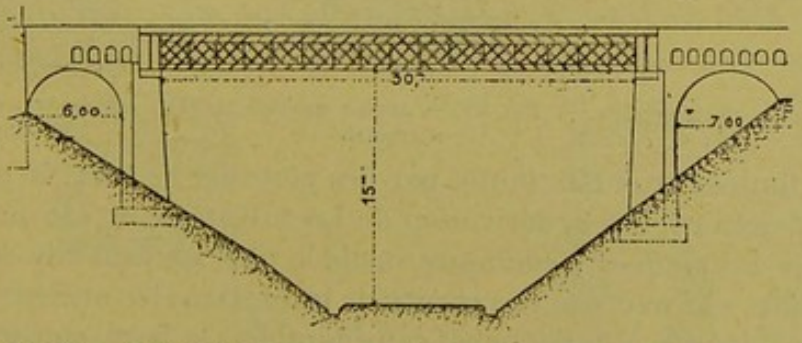


Fig. 96. — Pont-aqueduc par-dessus le chemin de fer du Bourbonnais.

assez sensibles et sans quelque complication de raccordement à ses deux extrémités, tandis qu'une seule arche ou une poutre métallique

sans supports intermédiaires peut suffire à porter l'aqueduc. Nous donnons deux types de *ponts-aqueducs* empruntés l'un à la dérivation de Loch Katrine (Glasgow), l'autre à celle de la Vanne (Paris), qui semblent parfaitement motivés. L'un se compose d'une arche en maçonnerie jetée sur un ravin étroit et profond, où il eût été sans doute difficile de placer un siphon, l'autre est un tablier métallique établi au-dessus des rails du chemin de fer du Bourbonnais, évidemment préférable en l'espèce à un siphon, que, pour la sécurité de l'exploitation, on eût été obligé de placer dans une galerie maçonnée.

190. Mode de construction de ces ouvrages. — Les ouvrages au moyen desquels on fait passer un aqueduc au-dessus des vallées comportent nécessairement une *cunette* pour l'écoulement de l'eau et un *support* destiné à soutenir cette cunette à la hauteur convenable.

Le support est analogue à ceux qui sont employés pour le passage des routes, chemins de fer, canaux, et nous renvoyons en conséquence pour ce qui le concerne aux ouvrages spéciaux[1]. Nous ne nous arrêterons ici qu'aux détails relatifs à la cunette.

Elle ne présente rien de particulier si elle est découverte : c'est une rigole en maçonnerie.

Mais très souvent la cunette reliant entre elles deux portions d'un aqueduc couvert, doit être couverte elle-même. Tantôt la couverture est formée par des *dalles,* comme au pont du Gard ou à l'aqueduc du

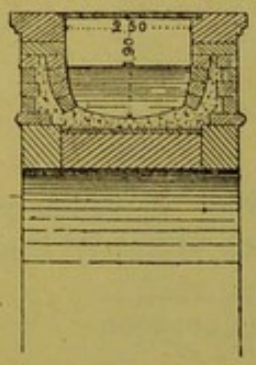


Fig. 97. — Pont de Blaircairn.

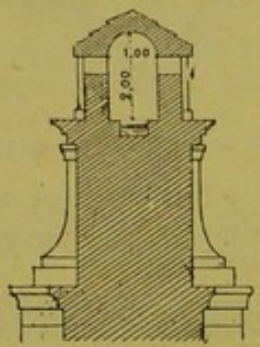


Fig. 98. — Ancien aqueduc d'Arcueil.

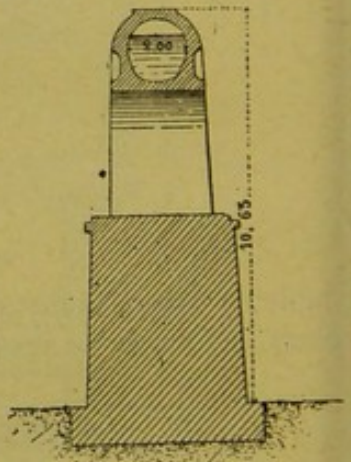


Fig. 99. — Arcades du Grand maître.

Peyrou (figures 81 et 82), tantôt par des *plateaux de bois :* le pont-aqueduc de Blaircairn, sur la dérivation de Loch Katrine en est un exemple ; tantôt par des *plaques métalliques ;* mais le plus souvent elle se compose d'une voûte, soit nue, soit recouverte de terre. Dans les anciens ouvrages, l'épaisseur donnée à la voûte est considérable : le hardi constructeur qui a conçu la dérivation de la Vanne n'a pas hésité à réduire cette épais-

1. Voir *Encyclopédie des travaux publics :* Degrand et Résal. Ponts en maçonnerie ; Résal, Ponts métalliques.

seur au minimum par mesure d'économie (*fig.* 99, 100) ; mais il a, cette fois, dépassé un peu la limite convenable, et ses voûtes minces, exposées sans défense à la gelée ou au soleil, tandis que l'écoulement de l'eau entretenait au-dessous une température à peu près constante, n'ont pas tardé à présenter de nombreuses fissures. Il a fallu arroser les unes pendant les grandes chaleurs, blanchir les autres à la chaux pour empêcher l'absorption des rayons solaires, finalement les transformer en les recou-

Fig. 100. — Arcades d'Arcueil.

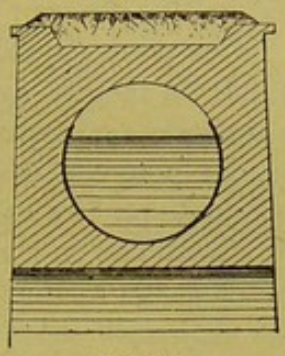


Fig. 101.

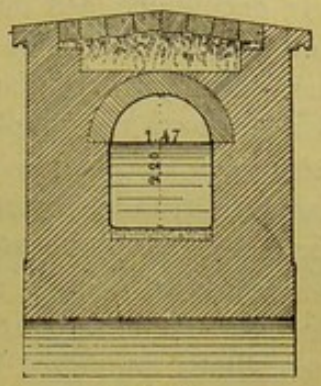


Fig. 102.

vrant d'une couche de terre comprise entre deux murettes rapportées, suivant un profil nouveau, étudié par M. l'ingénieur en chef Couche, et qui a pleinement réussi (*fig.* 101). La section si massive de l'aqueduc de Vienne (dérivation François-Joseph), partout recouvert d'une épaisse couche de terre, a du moins évité un pareil inconvénient.

Quelquefois la cunette en maçonnerie est remplacée par une *buse* en bois ou en métal. Le bois est appelé surtout à rendre des services pour des ouvrages provisoires ou de peu de durée : on réussit fort bien à étancher les joints en les calfatant au minium après avoir relié les plats-bords contigus par un fer plat pénétrant de part et d'autre dans une rainure ; la buse est portée par des tréteaux ou des palées en charpente. Pour des ouvrages définitifs on a plutôt recours au métal, et l'on emploie des buses en tôle, qui, dans certains cas, peuvent présenter des avantages sur les arcs en maçonnerie ; les supports sont alors, soit en maçonnerie comme au pont de la déri-

Fig. 103.

Fig. 104. — Pont sur le ch. de fer du Bourbonnais.

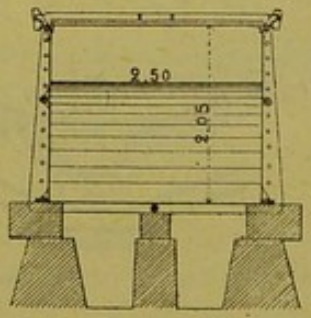


Fig. 105. — Pont de Calegarson.

vation de la Vanne sur le chemin de fer du Bourbonnais, soit en métal comme à l'aqueduc de Calegarton, un des ouvrages de la dérivation de

Lock Katrine. Lorsque la longueur de la buse est un peu considérable il faut en prévoir les mouvements de dilatation et prendre des dispositions spéciales pour assurer l'étanchéité des raccords avec la maçonnerie de l'aqueduc de part et d'autre : ces dispositions ont pour objet de laisser jouer librement le métal tout en formant une sorte de joint s'opposant à l'échappement de l'eau.

191. Siphons. — Les *siphons* constituent incontestablement le type par excellence des ouvrages destinés à porter l'eau d'un coteau à un autre au travers de la vallée qui les sépare : presque toujours plus économiques que les arcades ou les ponts-aqueducs, ils l'emportent aussi par leur extrême simplicité, par la facilité avec laquelle ils s'adaptent à tous les tracés, par leur aptitude remarquable à franchir les dépressions de grande profondeur. La nouvelle dérivation que l'on vient de terminer à Naples n'eût sans doute pu être exécutée, n'eût probablement pas même été conçue, si l'on n'avait pas eu à sa disposition le siphon pour la traversée de la plaine basse, de 20 kilomètres de largeur, qui sépare les collines dominant la ville du massif montagneux où ont été captées les sources d'Urcioli, et dont le sol est à 170 mètres au-dessous de la ligne de charge.

Un siphon n'est autre chose qu'une conduite forcée, que l'on substitue à l'aqueduc couvert sur une partie du parcours de la dérivation, et qui ne présente, d'ailleurs, aucune particularité, sauf à ses deux extrémités, où les raccordements avec les deux tronçons de l'aqueduc de part et d'autre doivent être étudiés de manière à réduire au minimum les remous et les pertes de charge qui en résultent, à faciliter les opérations de remplissage, de mise en service ou d'arrêt, et à permettre l'évacuation de l'air. On dispose à cet effet des ouvrages spéciaux, dits *têtes de siphon*.

Les siphons s'exécutent le plus souvent en tuyaux de fonte ; c'est la fonte qui a été employée pour les grands siphons de l'aqueduc de Naples, pour la plupart de ceux des aqueducs de la Dhuis et de la Vanne. Lorsque

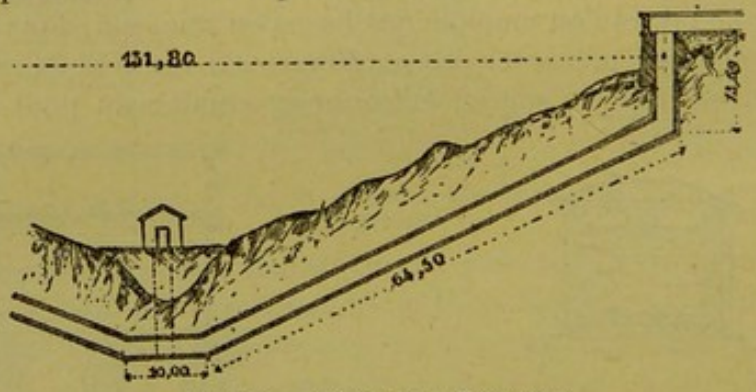


Fig. 106. — Siphon de la Trempasse.

la pression n'est pas trop considérable, on les établit aussi fréquemment en béton ou en maçonnerie : un certain nombre des siphons de la Vanne ont été construits en maçonnerie par mesure d'économie, mais la difficulté

et surtout la lenteur des réparations ont conduit à les remplacer peu à peu par des tuyaux en fonte ; d'ailleurs, l'avilissement du prix de la fonte laisse plus rarement maintenant l'avantage à la maçonnerie. Un des siphons du canal du Verdon, celui de la Trempasse, a été simplement creusé dans le roc compact qui forme le sol du ravin ; il a suffi de boucher en maçonnerie les fissures rencontrées et de revêtir la paroi d'un enduit épais pour obtenir une étanchéité parfaite : c'est là une solution élégante et économique, mais qui n'est applicable évidemment que dans des circonstances fort rares et pour de très grands diamètres. Dans bien des cas on rencontre au fond des vallées des parties humides et tourbeuses, où le sol, très compressible, se prête assez mal à l'assiette d'une construction quelconque : Belgrand établissait alors les siphons en fonte sur de petits supports en bois ou en maçonnerie portés par des pieux ; ce procédé a été appliqué avec succès aux traversées des prairies tourbeuses de la Vanne et de l'Essonne. La tôle conviendrait très bien pour les gros débits et les fortes pressions, si la multiplicité des rivets n'était une cause de fuites nombreuses et d'oxydation rapide ; néanmoins elle a été récemment employée à l'établissement de l'énorme conduite forcée qui forme la partie basse du siphon de la Lauvière (canal du Verdon). Les tuyaux en tôle n'ayant pas, comme les conduites en fonte, de nombreux joints un peu dilatables, il ne faut pas omettre de parer aux effets très sensibles que produiraient les mouvements dus aux variations de la température ; c'est pourquoi on a fait reposer à la Lauvière les abouts de la conduite en tôle sur de petits chariots de roulement et interposé de grands *soufflets* de dilatation (*fig.* 108). Parfois, enfin, on a recours au plomb pour l'établissement de siphons dans des cas tout particuliers, où la pression n'est pas trop forte et où l'on craindrait une détérioration rapide de la fonte ou de la tôle, comme par exemple pour la traversée des écluses dans les ports maritimes.

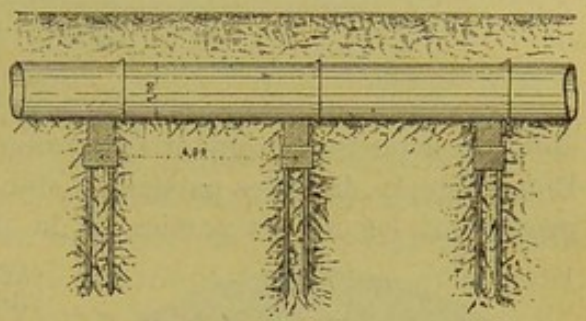


Fig. 107.

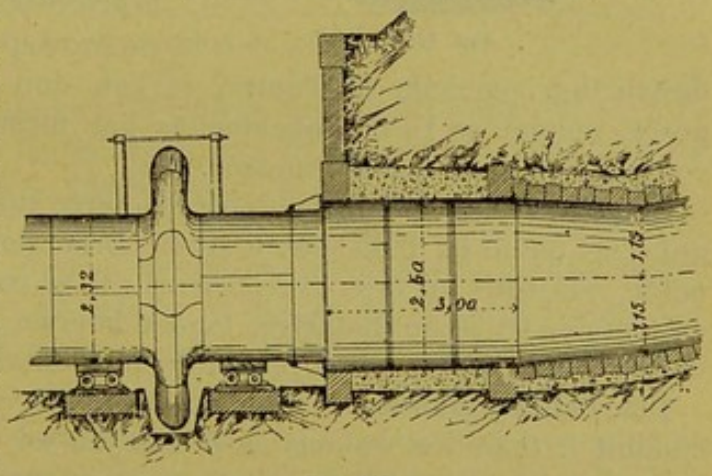


Fig. 108.

Dans une dérivation de grande longueur, comme celles de la Dhuis et

de la Vanne, où l'on rencontre à la fois des parties en tranchée et en relief, des souterrains, des ponts-aqueducs et des siphons, ce sont ces derniers ouvrages qui sont les plus exposés aux ruptures et sur lesquels

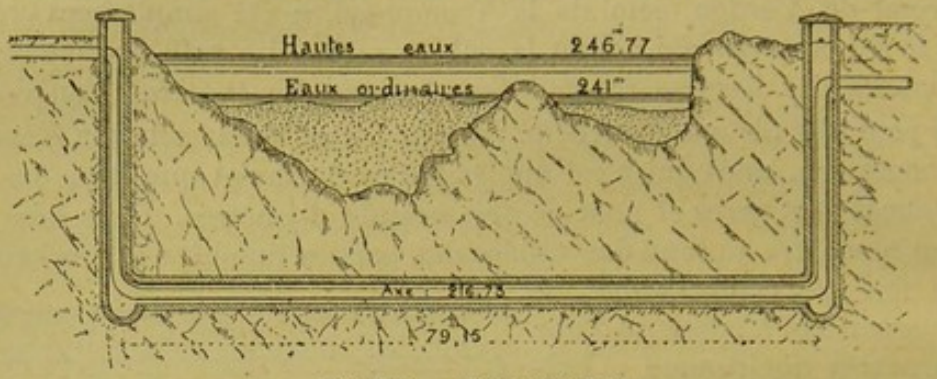


FIG. 109. — Siphon du Drac.

doit porter particulièrement l'attention du service chargé de l'entretien. Pour obtenir dans les parties en siphon une sécurité égale à celle que présentent les autres parties de la dérivation, il n'y a guère d'autre moyen que de diviser les risques en dédoublant la conduite forcée : bien souvent ce sera un surcroît de dépense auquel on devra se résigner pour éviter des interruptions complètes du service. Au reste, l'efficacité de ce moyen n'est absolue que si les deux conduites sont assez écartées pour que la rupture de l'une ne provoque pas le tassement et la destruction partielle de l'autre, et l'on doit soigneusement éviter de poser, comme on l'a fait quelquefois par mesure d'économie, les deux conduites dans la même tranchée.

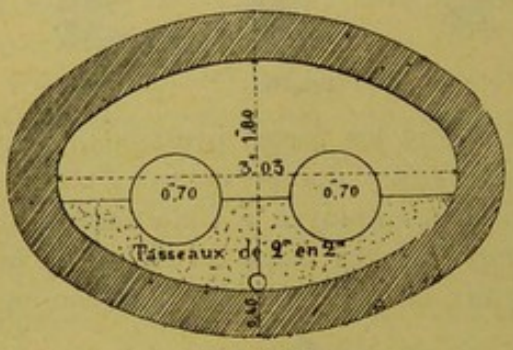


FIG. 110.

En général, les siphons sont posés en terre sur tout leur parcours. Celui qui a été établi en 1885 sous le lit du Drac, pour l'alimentation de Grenoble, constitue un type exceptionnel : il se compose de deux conduites en fonte de $0^m,70$ de diamètre, logées dans un souterrain de forme elliptique creusé dans le roc et revêtu de maçonnerie (*fig.* 110).

192. Ponts-siphons. — Mais il est des cas assez fréquents où l'on est conduit à tenir les siphons au-dessus du sol dans la partie basse de la vallée, en les plaçant sur une substruction quelconque : l'ouvrage prend alors le nom de *pont-siphon*.

Dans quelques anciens ouvrages on paraît avoir adopté ce système pour éviter une trop grande pression dans les tuyaux, qui se trouvent alors établis à un niveau intermédiaire entre le sol naturel et la ligne de charge. C'est sans doute une considération de ce genre qui a motivé les dispositions de l'aqueduc romain du mont Pila pour l'alimentation du

coteau de Fourvières à Lyon, aussi bien que celles de l'aqueduc delle Arcate, construit au XVIII[e] siècle en travers de la vallée du torrent Geivato, près de Gênes. Mais on sait fabriquer aujourd'hui des tuyaux capables de

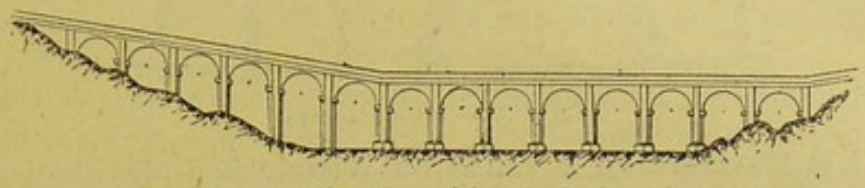


FIG. 111. — Pont siphon du Gard.

résister aux plus fortes pressions, et il n'y a plus lieu de recourir aux ponts-siphons uniquement en vue d'obtenir à grands frais une réduction de l'effort de l'eau sur la paroi des tuyaux.

Les ponts-siphons ne se recommandent que lorsqu'il s'agit de passer de préférence au-dessus d'une rivière, d'un chemin de fer, d'une route, au lieu de descendre au-dessous au risque de placer le siphon dans la nappe, ou d'en rendre la visite et la réparation extrêmement difficiles. Ce cas se présente d'ailleurs assez fréquemment; et les aqueducs modernes comportent des ponts-siphons importants, parmi lesquels nous citerons : celui de la dérivation du Croton (New-York), sur la rivière de

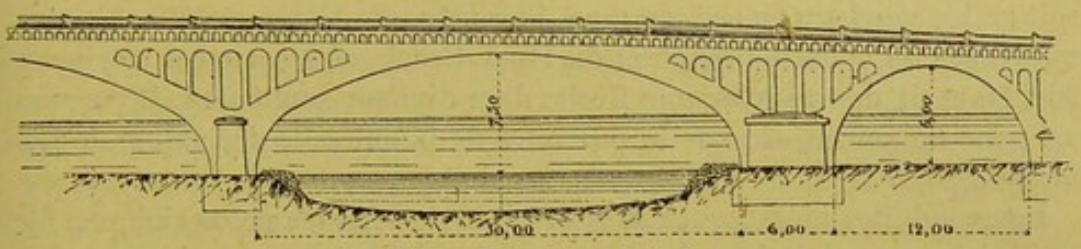


FIG. 112. — Pont siphon du Loing.

Harlem, assez élevé pour laisser 30 mètres de hauteur libre à la navigation, et qui se compose de quinze arches en plein cintre, dont huit de 24[m],40 d'ouverture et sept de 15[m],25 ; ceux de la dérivation de la Vanne, aux traversées de l'Yonne et du Loing, qui constituent aussi des ouvrages considérables, puisque le premier ne compte pas moins de cent soixante-deux arches, dont une de 40 mètres et quatre de 30 mètres pour une longueur totale de 1.493 mètres, le second cinquante-trois arches et 584 mètres de longueur.

Les substructions, qui supportent dans ce cas les conduites, sont de véritables ponts en maçonnerie. On en construit également en métal; les siphons de la Vanne à la traversée de l'Essonne sont portés par une poutre en treillis. Quelquefois on les réduit à des dispositions extrêmement simples, en donnant aux tuyaux les longues portées qu'ils comportent; c'est ainsi que le pont-siphon appelé Drymenbridge, sur la dérivation de Loch Katrine, se compose simplement de tuyaux de tôle reposant sur des piliers assez écartés. On s'est même servi de la résistance

propre des tuyaux pour les transformer en véritables poutres à longue portée, soit en les renforçant au besoin par des treillis ou des chaînes,

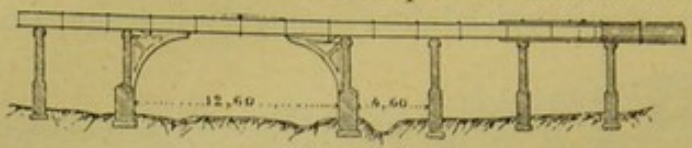


Fig. 113. — Drymen bridge.

comme à la traversée de la vallée du Wissahickon (distribution d'eau de Philadelphie), formée de quatre travées de 50 mètres d'ouverture,

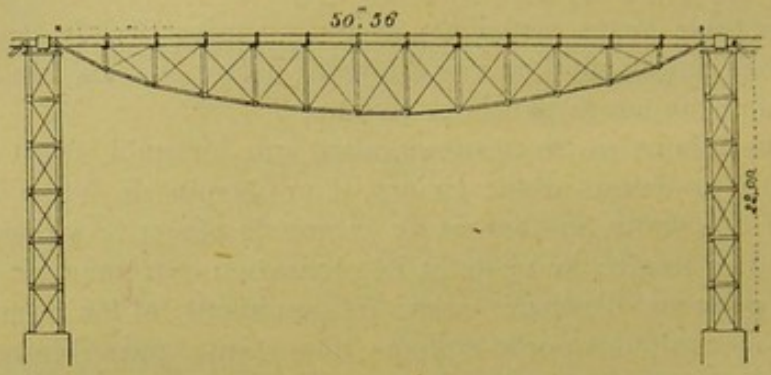


Fig. 114. — Pont du Wissahickon.

soit en les courbant en arc comme à l'aqueduc du Potomac (Washington) au-dessus du college-branch et du Rock-Creek, où les portées atteignent 36m, 60 et 61 mètres avec une flèche d'un dixième seulement. Il y a aussi un pont-siphon en arc sur le parcours de la nouvelle dérivation de Lisbonne.

Les conduites métalliques se trouveraient, dans les ponts-siphons, fort exposées aux variations de température, si l'on ne prenait pas le soin de les protéger, tantôt en les enveloppant de terre ou de sable, ce qui est possible sur un support en maçonnerie et a été fait au siphon d'Yonne, tantôt en les plaçant dans des galeries voûtées comme au pont de la rivière d'Harlem, tantôt en les recouvrant d'un cuvelage en bois (Drymen bridge). Cependant, si la longueur de l'ouvrage n'est pas considérable, et si l'eau a une vitesse assez grande, on peut sans danger supprimer tout revêtement : au siphon du Loing, bien que la longueur des conduites dépasse un demi-kilomètre, on les a laissées nues sans inconvénient, en prenant seulement la précaution de les peindre en blanc pour diminuer l'absorption des rayons solaires.

§ 6.

SOUTERRAINS.

193 Percement des contreforts. — Quand le tracé d'une dérivation rencontre une colline, il faut ou la contourner, si la chose est possible, ou y ouvrir un passage souterrain.

Dès les temps anciens on a été conduit à cette seconde solution : Hérodote cite un aqueduc souterrain à Samos, on en a retrouvé un autre à Jérusalem, et l'émissaire du lac Fucin exécuté sous l'empereur Claude se composait d'un souterrain de 5.700 mètres de longueur en grande partie dans le rocher.

L'outillage dont dispose l'ingénieur moderne lui permet d'aborder plus facilement et à moins de frais les ouvrages de ce genre : aussi voit-on adopter maintenant des tracés devant lesquels les anciens auraient dû certainement reculer. Bien souvent même on trouve avantage à percer un souterrain à travers une colline plutôt que de la contourner : outre que l'on gagne ainsi de la pente, en diminuant la longueur, on assure à l'ouvrage une meilleure assiette en le plaçant dans la masse compacte plutôt que dans les éboulis du coteau, et l'on réalise en même temps des économies, car, si la section de l'aqueduc est assez grande et le terrain de consistance moyenne, l'exécution d'un souterrain n'y est point coûteuse. C'est ce qui est arrivé naguère pour la dérivation de la source de Cochepies : projetée d'abord à flanc de côteau et suivant les sinuosités du contrefort qui sépare le vallon du Rû Saint-Ange de la vallée de la Vanne, elle a été raccourcie de trois kilomètres, grâce au percement de trois souterrains, de 6.600 mètres de longueur totale, dans la craie blanche.

Toutes les dérivations récentes comportent de nombreux souterrains, tant en France qu'à l'étranger : celle de Marseille n'en a pas moins de 18 kilomètres, la Dhuis 12, la Vanne 42, il y en a 10 kilomètres sur le parcours de l'aqueduc de Loch Katrine, 8 sur l'aqueduc François Joseph à Vienne, 14 sur celui de Naples. Et la tendance actuelle est de leur faire la part de plus en plus grande : le tracé des nouveaux aqueducs projetés pour l'alimentation de Paris admet de longs souterrains, celui du nouvel aqueduc de Croton s'écarte de l'ancien pour se jeter en souterrain vers l'intérieur des terres, malgré la dureté des roches rencontrées.

194. Section des aqueducs souterrains. — La section de l'aqueduc souterrain est rarement la même que celle de l'aqueduc en tranchée, à cause du mode différent de construction de l'ouvrage dans les deux cas. Il y a pour le souterrain une section minima qui ne saurait être réduite ; c'est celle qui correspond à l'espace nécessaire pour le travail d'un mineur, soit environ $1^m,80$ de hauteur et $0^m,80$ de largeur : d'où résulte que les percements sont peu avantageux en général pour les petits débits, et que la forme ovoïde s'impose, tant que le cercle qu'on pourrait lui substituer avec avantage au point de vue de l'écoulement de l'eau n'atteint pas $1^m,80$ de diamètre. D'autre part, si le terrain est dur, compact, imperméable, on peut supprimer tout revêtement et se contenter de régler le déblai ; s'il est dur, mais perméable ou fissuré, un simple enduit sur le périmètre mouillé suffit d'ordinaire, et le terrain reste à nu à la partie supérieure.

Lorsqu'un revêtement est indispensable, on l'exécute en maçonnerie, et on lui donne une épaisseur plus ou moins grande suivant les dimensions de la section, sa forme générale et la consistance des terres.

§ 7.

OUVRAGES ACCESSOIRES.

195. Leur objet. — Pour assurer le fonctionnement régulier et le bon entretien d'un aqueduc de dérivation il est indispensable de le munir d'un certain nombre d'ouvrages accessoires destinés à en faciliter le remplissage et la vidange, à y assurer le maintien du plan d'eau normal, à en permettre la visite et les réparations, etc.

Il faut en effet prévoir l'échappement de l'air lorsqu'on met en service les diverses parties de l'aqueduc et les siphons en particulier, et disposer pour cela des *ventouses* ou des *puits d'aération ;* des *bondes* ou *vannes* de vidange sont nécessaires, ainsi que des *rigoles de décharge,* pour conduire au besoin les eaux de l'aqueduc dans le lit de quelqu'un des cours d'eau qu'il rencontre, si un nettoyage ou un travail intérieur quelconque en réclame la mise à sec ; pour parer aux variations inévitables du plan d'eau, conséquence des variations du débit, et empêcher qu'il ne dépasse la hauteur des enduits,on doit avoir les moyens d'écouler les eaux surabondantes, et préparer pour cet objet des *trop-pleins* le plus souvent en forme de *déversoirs ;* pour fournir en tout temps la possibilité de pénétrer dans l'aqueduc en vue d'observations, de jaugeages, de prises d'échantillons d'eau, etc, des *regards* munis d'escaliers ou d'échelles doivent être disposés de distance en distance, on les utilise aussi d'ailleurs pour l'aération et pour la descente des matériaux en cas de réparation ; aux extrémités des siphons les regards d'aération et d'accès prennent des dimensions un peu plus grandes, afin de contenir tous les appareils que comporte leur fonctionnement, vannes ou bondes, trop-pleins, ventouses, décharges, etc. Pour compléter cette énumération il convient d'ajouter les *trous d'homme* pour la visite des siphons, les *vannes d'arrêt* pour limiter les pertes d'eau en cas de rupture de l'aqueduc, puis les indicateurs ou enregistreurs de niveau, les appareils de jaugeage, d'alarme, etc.

En Angleterre, où l'on admet assez volontiers les appareils automatiques, on trouve en outre des dispositions spéciales pour la régularisation du débit, l'arrêt de l'écoulement en cas de fuite, etc.

196. Regards. Puits. Ventouses. — De tous ces ouvrages accessoires celui qui est le plus répandu, et qu'on trouve appliqué aussi bien aux aqueducs anciens qu'aux dérivations modernes, c'est le *regard*, auquel il

suffit du reste de donner des dispositions fort simples pour qu'il remplisse son rôle multiple. Les *puits* ne sont autre chose que les regards correspondant aux parties en souterrain, et sont formés par quelques-uns des puits de service utilisés d'abord pour l'exécution de l'ouvrage, conservés ensuite après avoir reçu un revêtement durable, et pourvus d'un moyen de descente approprié.

Les regards sont disposés le plus souvent à des intervalles réguliers sur la longueur des aqueducs, plus rapprochés pour les petits aqueducs, où le parcours intérieur est difficile ou impossible, que sur les grands où la circulation n'est point malaisée : dans le premier cas il convient de ne pas dépasser un écartement de 100 mètres, dans le second on peut aller sans inconvénient jusqu'à 500 mètres, comme on l'a fait pour la Dhuis et la Vanne. On donnait autrefois aux regards des dispositions monumentales ; on les exécutait souvent en pierre de taille avec un certain déploiement de luxe qui s'explique par la préoccupation de mettre en évidence, au moins en quelques points, le caractère important d'un ouvrage presque entièrement dissimulé à la vue. Aujourd'hui au contraire on s'attache à leur donner des dispositions simples et économiques : tantôt ils sont placés sur l'axe de l'aqueduc,

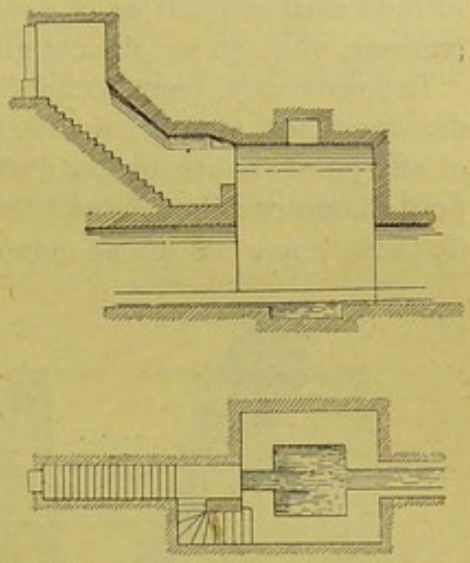


Fig. 115. — Regard de l'ancien aqueduc d'Arcueil.

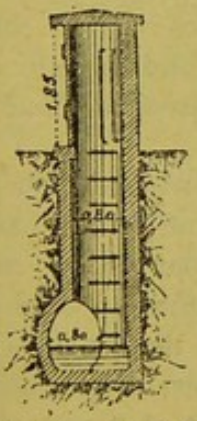


Fig. 116. — Regard de l'aqueduc de la Vanne.

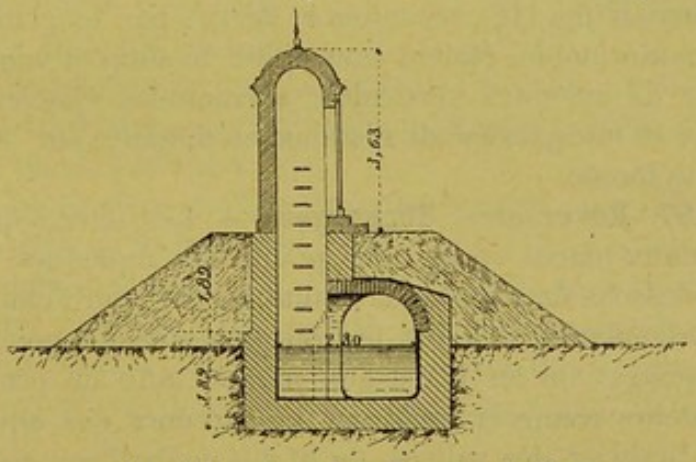


Fig. 117. — Regard de l'aqueduc de Vienne.

tantôt latéralement, fermés par un tampon en pierre, en métal ou en bois, ou surmontés d'une petite chambre d'accès munie d'une porte ; la dérivation de la Vanne, et l'aqueduc François-Joseph, à Vienne, sont munis de regards de ce dernier type.

Dans tous les cas, des dispositions spéciales doivent être prises pour

garantir l'eau contre les atteintes de la malveillance, l'afflux des eaux de superficie, l'introduction des insectes ou des grenouilles, la pénétration des racines des plantes pivotantes, etc. Le résultat cherché s'obtient plus aisément avec des portes qu'avec des tampons.

Sur la Dhuis et la Vanne, on a construit, à intervalles éloignés, des regards plus grands que les autres, qui se prêtent à l'introduction, dans l'aqueduc, d'un bateau plat, dans lequel un homme peut s'étendre, afin de vérifier l'état de la voûte et des enduits, l'importance des infiltrations, etc., en se laissant glisser au fil de l'eau.

Les *ventouses*, pour l'échappement de l'air confiné en certains points des aqueducs, sont particulièrement utiles aux extrémités des siphons et aux points hauts des conduites forcées. Tantôt ce sont des tuyaux de petit diamètre débouchant à l'air libre à une hauteur convenable, tantôt de petits appareils qui se manœuvrent à la main ou automatiquement,

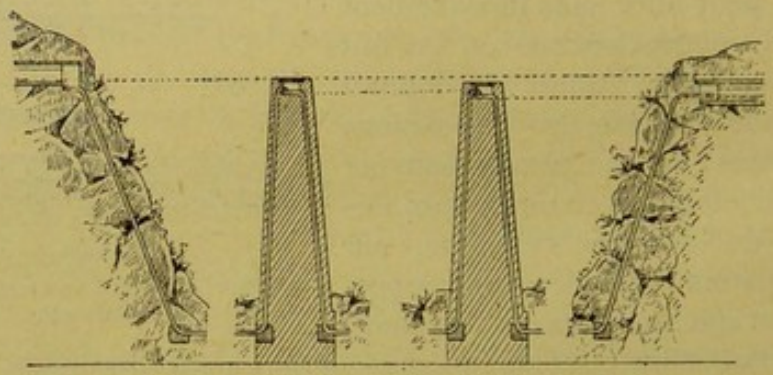


Fig. 118.

et que nous retrouverons appliqués aux conduites de distribution. Les *souterazi* (*fig.* 118), reconnus et décrits par le général Andréossy près de Constantinople, étaient sans doute de simples ventouses ; ils se composent de colonnes verticales, surmontées chacune d'une cuvette à air libre et interposées de distance en distance sur le parcours d'une conduite forcée.

197. Déversoirs, décharges. — Les *déversoirs* sont des seuils horizontaux placés en certains points des aqueducs, à une faible hauteur au-dessous du niveau maximum admis pour l'eau, et par où, en cas de surabondance de débit, le trop-plein s'écoule pour gagner un conduit de décharge. On les place aux sources, afin de profiter des anciens évacuateurs naturels, puis sur le parcours des aqueducs, à la rencontre du thalweg des vallées, du lit des cours d'eau, partout où il est possible d'écouler un volume d'eau un peu considérable sans raviner les terres. Les dispositions des déversoirs peuvent d'ailleurs varier beaucoup et ne présentent guère d'intérêt par elles-mêmes, il suffit que les dimensions en soient calculées de manière que le trop-plein y passe totalement, et que l'eau ne puisse jamais se mettre en pression dans l'aqueduc.

Les *décharges*, pour la vidange complète des aqueducs, se placent

souvent aux mêmes points que les déversoirs, qui ne sont autre chose d'ailleurs que des décharges de superficie. Mais elles en diffèrent absolument par leurs dispositions et leur mode de fonctionnement : pour les conduites forcées, ce sont des tubulures munies de *robinets-vannes*, pour les aqueducs des ouvertures pratiquées dans le radier et fermées par un appareil mobile, tel qu'une vanne ou une *bonde* de fond, sorte de clapet qui se manœuvre au moyen d'une tige ou d'une vis, et dont nous retrouverons l'application dans les réservoirs. Quelquefois, mais très rarement, ces appareils sont rendus automatiques, au moyen d'un flotteur; le plus souvent l'ouverture s'opère à la main, et comme elle doit avoir lieu surtout en cas d'accident, il convient de rendre la manœuvre très aisée et très prompte : le cantonnier, chargé de la surveillance d'une certaine longueur d'aqueduc, doit pouvoir la faire seul sans difficulté.

198. Têtes de siphons. — En raison de leur rôle complexe, les têtes de siphons reçoivent nécessairement d'assez grandes dimensions ; ce sont des regards plus importants que les autres, permettant au besoin l'introduction d'un bateau, et contenant à la fois des appareils de remplissage et de vidange, de déversement et d'échappement d'air. La fig. 119 représente une des têtes de siphons de l'aqueduc de la Vanne, où ces divers appareils se trouvent réunis.

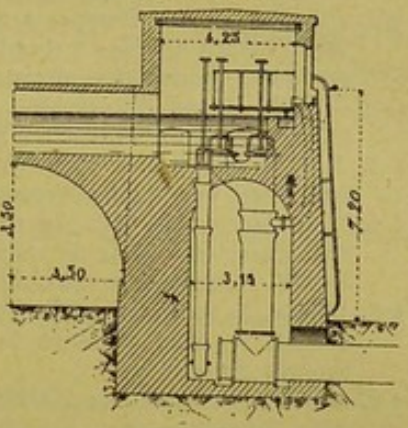


FIG. 119.

L'étude des détails doit être faite avec soin pour éviter, soit les pertes de charge, par l'effet des remous toujours assez considérables aux abords des siphons, soit les coups de bélier, dus à l'échappement trop brusque de l'air, soit les efforts trop grands lors des manœuvres, qui doivent en général pouvoir être effectuées aisément par un seul homme.

Aux grands siphons récemment établis près de Naples, on a pris, à cause de la pression énorme qu'ils supportent, une précaution coûteuse mais excellente : une conduite spéciale de mise en charge, de petit diamètre (200^{mm}), va porter l'eau aux points bas des grosses conduites forcées de 700 et 800 millimètres de diamètre, rendant impossible un remplissage brusque, qui serait dans ce cas particulièrement dangereux.

CHAPITRE X

ÉLÉVATION MÉCANIQUE DE L'EAU

Sommaire :

§ 1er. *Appareils employés pour l'élévation de l'eau.* — 199. Classification. — 200. Appareils élévatoires proprement dits. — 201. Appareils agissant par aspiration et refoulement. — 202. Appareils à choc. — 203. Appareils à action directe de vapeur. — 204. Utilisation des divers appareils servant à l'élévation de l'eau.

§ 2. *Pompes.* — 205. Pompes à mouvement alternatif. — 206. Pompes à simple effet. — 207. Pompes doubles à simple effet. — 208. Pompes à double effet. — 209. Jeu des pompes à mouvement alternatif. — 210. Rôle de l'air. — 211. Vitesse. Rendement. — 212. Corps de pompes. — 213. Pistons. — 214. Soupapes et clapets. — 215. Pompes oscillantes. — 216. Pompes rotatives. — 217. Pompes centrifuges.

§ 3. *Aspiration.* — 218. Observations générales. — 219. Dégagement des gaz dissous. — 220. Réservoir d'air d'aspiration. — 221. Amorçage des pompes.

§ 4. *Refoulement.* — 222. Inertie de la colonne d'eau. — 223. Châteaux d'eau. — 224. Réservoirs d'air de refoulement. — 225. Dispositions diverses du refoulement. — 226. Conduites ascensionnelles.

§ 5. *Choix du moteur.* — 227. Considérations générales. — 228. Moteur animés. Moteurs à vent. — 229. Moteurs hydrauliques. — 230. Moteurs à vapeur. — 231. Générateurs de vapeur.

§ 6. *Machines élévatoires.* — 232. Multiplicité des types. — 233. Commande directe. — 234. Transmissions. — 235. Types de machines élévatoires mues par l'eau. — 236. Types de machines élévatoires mues par la vapeur. — 237. Appareils accessoires. — 238. Rédaction des programmes. — 239. Travail des machines.

§ 7. *Installation, entretien, exploitation des machines élévatoires.* — 240. Emplacement des usines. — 241. Bâtiments. — 242. Constructions accessoires. — 243. Entretien des machines. — 244. Exploitation. — 245. Dépenses d'installation et d'exploitation. — 246. Prix de revient de l'eau élevée.

§ Ier.

APPAREILS EMPLOYÉS POUR L'ÉLÉVATION DE L'EAU

199. Classification. — « L'invention et l'usage des machines à élever « l'eau, dit le général Morin, remontent à l'origine des sociétés ; et les « souvenirs de l'antiquité nous montrent l'importance que tous les peu- « ples y ont attachée. Aussi, depuis des siècles, presque toutes les « formes, toutes les dispositions qu'il est possible d'imaginer, ont-elles été

« connues, employées et décrites dans les ouvrages historiques et scien-
« tifiques... Il faut cependant remarquer que telle idée ingénieuse, qui
« à certaines époques n'était pas exécutable, a pu devenir plus tard réa-
« lisable avec succès... » [1]. C'est ainsi que les progrès de la mécanique et la généralisation de l'emploi de la vapeur comme force motrice, ont grandement contribué à répandre l'emploi des engins destinés à élever l'eau pour l'alimentation des villes et à en multiplier les applications.

Le bon marché relatif des installations mécaniques, le peu de temps qu'elles exigent, la simplicité des études préparatoires, les font bien souvent préférer à des dérivations coûteuses, d'une exécution plus longue et plus difficile.

Aussi le nombre des engins actuellement employés à l'élévation de l'eau est-il considérable. Pour les passer plus aisément en revue, nous les classerons en plusieurs catégories :

La première comprendra les *appareils élévatoires* proprement dits, qui prennent directement l'eau à élever, et la montent comme un corps pesant quelconque, en profitant seulement de sa mobilité ;

La seconde, ceux qui agissent par *aspiration* et *refoulement*, produisant d'abord la raréfaction de l'air dans un espace fermé, où l'eau pénètre par l'effet de la pression atmosphérique, puis l'expulsant avec force pour la porter à une hauteur quelconque ;

Dans la troisième viendront se ranger les appareils où l'action d'une chute d'eau est directement utilisée à l'élévation d'une partie de l'eau débitée ;

Dans la quatrième enfin, ceux où l'eau est entraînée ou projetée par l'effet de la vapeur à haute pression.

200. Appareils élévatoires proprement dits. — Les appareils de la première catégorie sont fort nombreux ; de formes et de dispositions très variées, ils se prêtent surtout à l'élévation de l'eau à de faibles hauteurs, et conviennent plutôt aux épuisements et aux irrigations qu'à l'alimentation des villes.

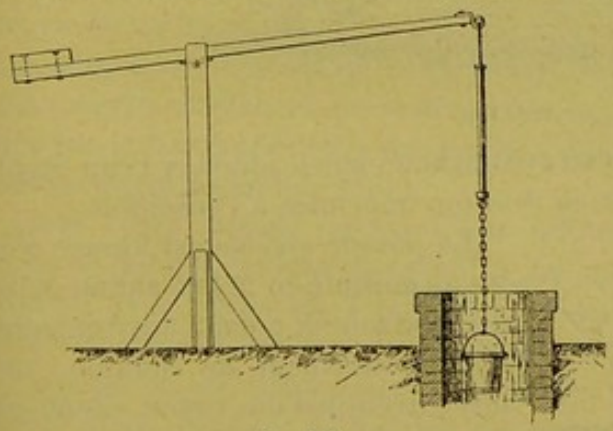


FIG. 120.

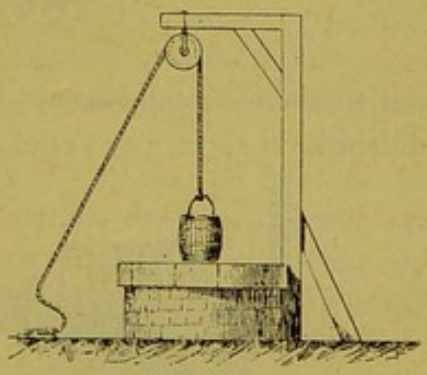


FIG. 121.

1. MORIN. *Machines et appareils à élever les eaux.*

Les plus simples de tous sont : l'*écope*, sorte de pelle creuse en bois, manœuvrée à la main ; le *van*, le *baquet* et le *seau*, qui peut être employé directement, ou soulevé par le moyen, soit d'un levier à bascule (*fig.* 120), soit d'une corde passant sur une poulie (*fig.* 121) ou sur un treuil.

Puis viennent les *chapelets*, verticaux ou inclinés, composés d'une série de palettes, fixées sur une chaîne sans fin mise en mouvement par deux tambours et qui entraîne l'eau dans une auge ; les *norias*, ou chaînes à pots, sortes de chapelets où les palettes sont remplacées par

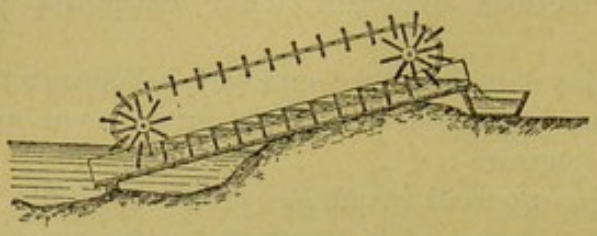


Fig 122. — Chapelet.

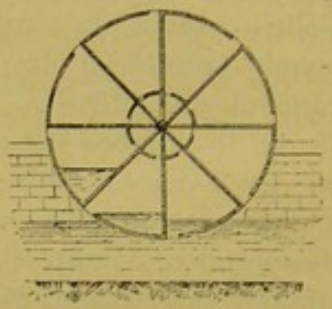


Fig. 123. — Tympan.

des récipients en forme d'écope ou de seau, et qui, fonctionnant sans auge, peuvent au besoin élever l'eau à des hauteurs considérables ; les *roues à augets* et les *tympans*, où l'élévation est due au mouvement de rotation imprimé à un arbre unique.

La *vis d'Archimède* se compose de surfaces héliçoïdales, disposées

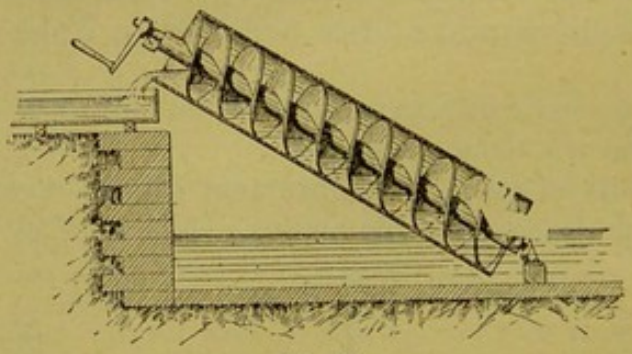


Fig. 124.

entre une enveloppe et un noyau cylindrique, sur lesquelles l'eau monte de spire en spire, par l'effet de la rotation imprimée à l'ensemble.

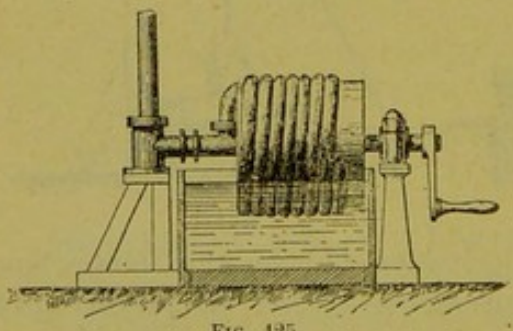


Fig. 125.

La *pompe spirale* est formée d'un tuyau enroulé en hélice sur un cylindre horizontal, à demi noyé et animé d'un mouvement de rotation ; une des extrémités du tuyau étant ouverte et plongeant dans l'eau à chaque demi-révolution du cylindre, il y pénètre alternativement de l'eau et de l'air ; l'air emprisonné se comprime de plus en plus à chaque tour, et finit par refouler l'eau hors du

tuyau dans la conduite ascensionnelle avec laquelle il se relie. Cette pompe peut aussi fonctionner à une certaine hauteur au-dessus de l'eau avec un tuyau d'aspiration.

201. Appareils agissant par aspiration et refoulement. — Dans la seconde catégorie se rangent les diverses espèces de *pompes*, dont les nombreux dispositifs se ramènent toujours à deux types : celui où il y a seulement aspiration, et celui où il y a tout à la fois aspiration et refoulement.

L'effort de la *pompe aspirante* est employé à faire le vide dans le corps de pompe, où l'eau est ensuite refoulée par la pression atmosphérique. Comme la hauteur de la colonne d'eau, qui fait équilibre à cette pression, est de $10^{m},33$, ce chiffre donne la limite théorique de la hauteur d'élévation qu'une pompe aspirante pourrait atteindre, si les frottements y étaient nuls et si elle produisait un vide parfait ; en pratique, on ne saurait dépasser 7 à 8 mètres au plus. Réduite à sa forme la plus simple, la pompe aspirante se compose d'un corps de pompe vertical, muni à sa base d'une soupape, et prolongé au-dessous par un tuyau plongeant dans l'eau à élever, et d'un piston, qui se meut dans le corps de pompe, tantôt de bas en haut, tantôt de haut en bas, et qui porte lui-même une deuxième soupape. Pendant la marche ascendante du piston le vide se fait dans l'espace fermé compris entre les deux soupapes, et, la soupape inférieure s'ouvrant sous l'effort de la pression atmosphérique, l'eau pénètre dans le corps de pompe. Pendant la marche inverse, la soupape inférieure étant fermée et la soupape supérieure ouverte, l'eau passe à travers le piston. Dans le premier mouvement, la force qui a agi sur le piston, doit vaincre, en dehors des frottements, la pression atmosphérique s'exerçant sur la face supérieure du piston ; dans le second la résistance est réduite aux frottements seuls.

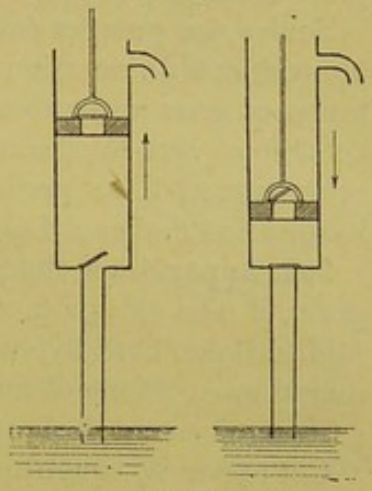


Fig. 126.

Dans toute pompe agissant par refoulement, l'eau, en sortant du corps de pompe, pénètre dans un tuyau ascendant dans lequel elle est chassée avec assez de force pour atteindre un orifice supérieur de déversement. Tantôt le tuyau ascensionnel est placé au-dessus du corps de pompe et les soupapes sont disposées comme dans la pompe aspirante : alors, pendant la montée du piston, le vide se fait au-dessous, tandis qu'il élève au-dessus l'eau qui vient de le traverser, et, dans la descente, l'eau passe simplement de dessous au dessus, de sorte que l'effort à faire pour l'élévation de l'eau a lieu seulement durant la première partie de la course ; la pompe est dite *aspirante et élévatoire* (*fig.* 127). Tantôt le tuyau ascensionnel débouche dans le corps de pompe au-

dessous du piston, qui est plein, et la seconde soupape est placée à l'orifice inférieur de ce tuyau (*fig.* 128) : alors l'aspiration seule a lieu pendant le mouvement ascendant du piston, le refoulement ne se produit que lorsqu'il descend, et l'effort auquel est dû l'élévation de l'eau se partage entre les deux parties de la course; la pompe est dite *aspirante et foulante*.

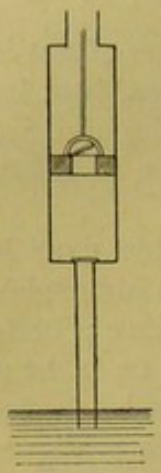


Fig. 127.

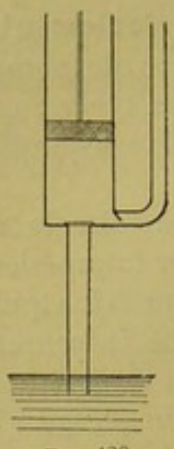


Fig. 128.

Les *pompes oscillantes* ne sont qu'une variété des pompes aspirantes et foulantes, où le mouvement rectiligne du piston est remplacé par le mouvement angulaire d'une palette qui se meut dans un tambour à base de secteur circulaire. Dans les *pompes rotatives*, le mouvement alternatif de cette palette est remplacé par un mouvement continu qui permet la suppression des soupapes.

Seules, les *pompes centrifuges* reposent sur un principe différent : un mouvement de rotation très rapide y est imprimé à des ailettes qui tournent dans un tambour fixe, et, tandis que l'eau projetée par la force centrifuge vers la circonférence du tambour gagne de là le tuyau de refoulement, il se produit vers l'axe un vide relatif qui y détermine l'aspiration de l'eau. Là encore des soupapes ne sont pas nécessaires.

202. Appareils à choc. — Parmi les appareils de la troisième catégorie, il n'en est qu'un qui soit entré dans la pratique, c'est le *bélier hydraulique*, dont le jeu est basé sur l'utilisation du choc, qui se produit quand une colonne d'eau en mouvement subit un arrêt brusque, et qui est vulgairement désigné sous le nom de coup de bélier.

Cet appareil, construit pour la première fois en 1796 par Montgolfier, se compose d'un tuyau d'amenée aboutissant à un orifice muni d'une soupape et communiquant, par une autre ouverture pourvue d'une seconde soupape, avec un réservoir d'air relié au tuyau de refoulement.

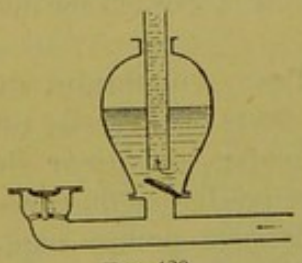


Fig. 129.

L'eau prenant, en vertu de la chute, une vitesse de plus en plus grande dans le tuyau d'amenée, la première soupape est entraînée et vient fermer brusquement l'orifice inférieur; le choc qui en résulte détermine l'ouverture immédiate de la seconde soupape qui livre passage à une certaine quantité d'eau; mais la résistance à vaincre ne tarde pas à se traduire par un ralentissement, qui a pour conséquence la fermeture des deux soupapes, et l'appareil se retrouve prêt pour une nouvelle évolution.

Le bélier, en raison de son principe même, ne peut élever qu'une fraction de l'eau motrice. Dernièrement, un constructeur de Paris, M. Durozoi, y a fait une modification bien simple, qui lui permettrait

d'élever au contraire une eau différente, en remplaçant la dernière soupape par un diaphragme en caoutchouc : le jeu de l'appareil détermine un mouvement de va-et-vient de ce diaphragme, qui produit successivement l'aspiration et le refoulement dans le réservoir d'air, sans que l'eau, passant dans ce récipient, soit jamais en contact avec celle qui s'écoule par le tuyau.

203. Appareils à action directe de vapeur. — La quatrième catégorie comprend des appareils d'invention récente où la vapeur est utilisée pour obtenir l'aspiration et le refoulement de l'eau, soit par un effet d'entraînement, soit par des alternances de pression et de vide.

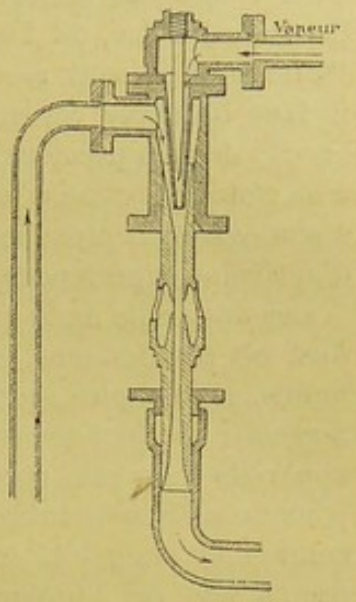


FIG. 130.

Dans les uns, dérivés de l'*injecteur Giffard*, un jet de vapeur en pression est lancé par un ajutage effilé suivant l'axe d'un tuyau en communication avec le réservoir d'eau inférieur et dans la direction de la conduite aboutissant au réservoir supérieur : l'écoulement rapide de la vapeur produit un entraînement de l'air, et par suite un appel, qui a pour conséquence l'aspiration de l'eau du réservoir inférieur ; et cette eau mélangée à la vapeur se précipite dans le tuyau ascensionnel pour gagner le réservoir supérieur. On appelle *injecteurs* ceux qui servent à refouler l'eau dans une capacité où elle est en pression, *éjecteurs* ceux qui sont destinés au contraire à produire une simple aspiration.

Les autres, dits *pulsomètres, pulsateurs,* et parmi lesquels on doit ranger la pompe Greeven, sont fondés sur le principe suivant : un espace clos relié aux réservoirs inférieur et supérieur par des tuyaux munis de soupapes est mis par intermittences en communication avec un générateur de vapeur ; l'eau qui y est contenue est refoulée vers le réservoir supérieur au moment où la vapeur en pression y pénètre ; puis, l'afflux de vapeur cessant, la condensation se produit, et l'eau du réservoir inférieur y est précipitée à son tour par l'effet de la pression atmosphérique. Des dispositions ingénieuses ont permis de réaliser la marche automatique de ces appareils.

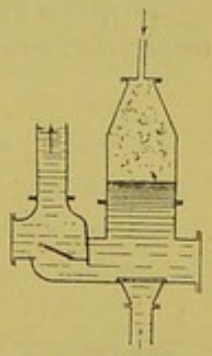


FIG. 131.

Injecteurs et pulsomètres sont d'ailleurs caractérisés par la propriété, qu'ils possèdent les uns et les autres, de ne pouvoir débiter qu'un mélange d'eau avec une faible quantité de vapeur : l'eau qui y passe est donc toujours plus ou moins échauffée.

204. Utilisation des divers appareils servant à l'élévation de l'eau. — On conçoit que les appareils qui fournissent de l'eau échauffée par

son mélange avec la vapeur ou refoulent une fraction de l'eau employée pour les mettre en mouvement ne sauraient être applicables dans tous les cas, et qu'il faut les réserver pour les circonstances spéciales où ces conditions obligées de leur fonctionnement se trouvent être sans inconvénient. Ainsi les appareils à action directe de vapeur, dont le rendement est d'ailleurs très faible, n'ont trouvé que des applications industrielles, et ne sont pas utilisés jusqu'à présent pour l'alimentation des villes. Et c'est seulement dans les propriétés particulières ou dans des localités de second ordre, où l'on dispose de petites chutes et où les besoins de l'alimentation sont restreints, que l'on emploie le bélier hydraulique : il faut observer cependant que ce dernier engin est susceptible de rendre de très précieux services, grâce à son prix extrêmement modéré, à sa grande facilité d'installation, à la simplicité de son fonctionnement, à son entretien presque nul, grâce aussi à son excellent rendement qui, d'après les expériences d'Eytelwein, peut atteindre et dépasser 0,80.

Les appareils de la première catégorie, quoique extrêmement répandus, ne conviennent, en général, qu'à de faibles hauteurs ascensionnelles, et sont plus aptes au service des irrigations qu'à l'élévation d'eau à grande hauteur nécessaire pour les distributions urbaines. Parmi ces appareils il en est, comme le seau, qui ne peuvent être employés que pour de petites quantités d'eau; d'autres ont un rendement médiocre, comme le chapelet, où les pertes d'eau entre les palettes et l'auge prend vite de l'importance; quelques-uns, néanmoins, tels que les norias, les vis d'Archimède, etc., peuvent, dans des cas particuliers, recevoir des applications très justifiées.

Mais l'appareil par excellence pour l'élévation de l'eau, c'est la pompe, dont le principe se prête aux combinaisons les plus variées, et qui se plie à toutes les exigences de la pratique : l'eau n'y subit aucune altération, et, dans de bonnes conditions d'emploi, le rendement en est excellent. Aussi l'usage des pompes est-il tout à fait général, et ce n'est guère qu'au moyen d'engins de cette espèce que se fait l'élévation mécanique de l'eau pour l'alimentation des villes.

§ 2.

POMPES.

205. Pompes à mouvement alternatif. — Les pompes *à piston* ou *à mouvement alternatif* sont de beaucoup les plus répandues. Elles se subdivisent en plusieurs classes suivant leur mode de fonctionnement, leur disposition générale, la position relative des tuyaux d'arrivée et de départ de l'eau.

Telles qu'elles sont décrites au paragraphe précédent, c'est-à-dire sous la forme la plus simple, les pompes ne produisent l'élévation ou le refoulement de l'eau que dans l'un des deux sens du mouvement rectiligne du piston, d'où la désignation de *pompes à simple effet*. L'effort à faire pour les mettre en mouvement est dès lors nécessairement varié, et l'écoulement de l'eau dans la conduite ascensionnelle se produit par saccades, ce qui n'est pas sans avoir des inconvénients.

Pour les éviter, on a été conduit à modifier les dispositions primitives des pompes à pistons, de manière à obtenir dans les deux parties de la course des effets équivalents, en équilibrant les efforts dans les deux sens. La pompe *à double effet*, qui répond à cette condition, comporte un piston plein, animé d'un mouvement alternatif, dans un corps de pompe pourvu de deux orifices d'aspiration et de deux orifices de refoulement. A volume égal, la pompe à double effet débite deux fois autant d'eau que la pompe à simple effet ; et, si les intermittences du mouvement de la colonne liquide, dans la conduite ascensionnelle, ne sont pas supprimées, elles y sont du moins considérablement réduites.

On obtient d'ailleurs le même résultat en accouplant deux pompes à simple effet, de manière que le mouvement de leurs pistons soit alterné, et plus de régularité encore au moyen d'un jeu de trois pompes ou plus, à simple effet, convenablement combinées.

Tantôt l'axe des pompes est vertical, tantôt horizontal, quelquefois aussi, mais plus rarement, incliné : le choix à faire entre les divers modes d'installation dépend soit du moteur et des organes employés pour la transmission du mouvement, soit de la hauteur de l'aspiration. La position verticale convient bien aux pompes à simple effet, et en particulier aux pompes élévatoires, dont l'effort, se produisant à la montée du piston, fait travailler la tige à la traction, c'est-à-dire dans les conditions les plus favorables : on ne peut obtenir le même avantage avec les pompes foulantes placées verticalement qu'en amenant l'eau *au-dessus du piston*, contrairement à la disposition habituelle. Les pompes à double effet s'accommodent mieux de la position horizontale.

Les applications innombrables des pompes à mouvement alternatif, et la diversité des cas auxquels on s'est ingénié à les adapter, ont eu nécessairement pour conséquence une très grande variété dans les formes et les détails de construction. Nous nous bornerons à passer en revue les principaux types en usage.

206. Pompes à simple effet. — Les pompes à simple effet peuvent être réparties en plusieurs catégories distinctes suivant que le piston y est *plein*, percé et muni de *clapets*, ou *plongeur*.

Celles à piston plein sont verticales ou horizontales (*fig.* 132, 133), élévatoires ou foulantes ; le corps de pompe est tantôt ouvert d'un côté, ce qui a l'avantage de laisser le piston apparent et de faciliter la surveillance et

l'entretien de la garniture, tantôt fermé et pourvu d'un presse-étoupe pour le passage de la tige.

Lorsque le piston livre passage à l'eau et porte des clapets, la pompe est presque toujours verticale, aspirante et élévatoire (*fig.* 127). Les filets liquides suivent alors une direction constante dans leur mouvement

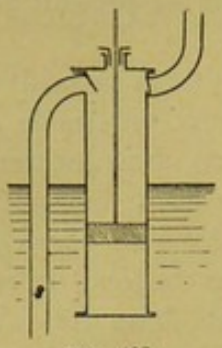


FIG. 132.

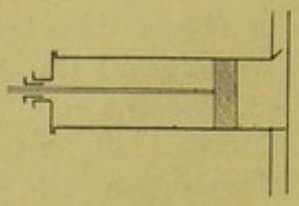


FIG. 133.

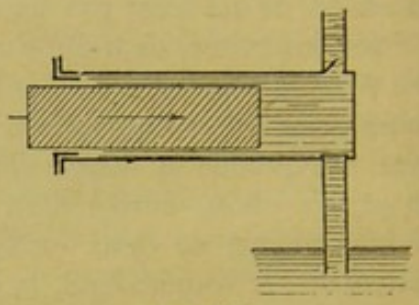
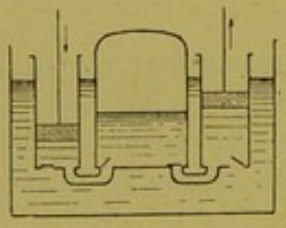


FIG. 134.

ascendant, et la tige travaillant à la traction peut recevoir une longueur quelconque sans inconvénient.

Le piston plongeur (*fig.* 134) n'est qu'une heureuse modification du piston plein, qui supprime la nécessité de l'alésage intérieur du corps de pompe, réduit la garniture à un simple presse-étoupe, toujours visible et facile à entretenir, et diminue les frottements. La position horizontale lui convient particulièrement, tandis que, lorsqu'il se meut dans le sens vertical, la tige travaille presque toujours à la descente, et se trouve par suite exposée à fléchir, pour peu qu'elle soit longue. Il faut faire exception pour la machine de Cornouailles, où le poids du piston suffit à équilibrer la colonne ascensionnelle.

207. Pompes doubles à simple effet. — Nous avons dit précédemment qu'on dispose souvent les pompes à simple effet par paires, en alternant le mouvement des deux pistons pour obtenir l'égalité de travail



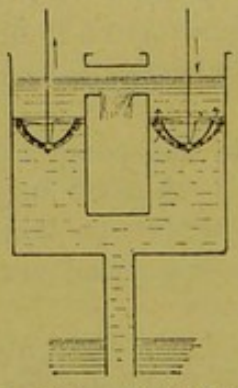


FIG. 135. — Pompe à incendie. FIG. 136. — Pompe Letestu.

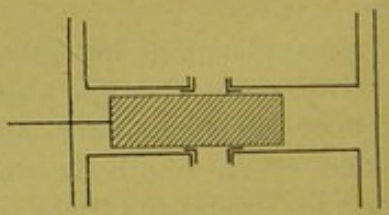


FIG. 137.

dans les deux sens, en même temps qu'une régularité plus grande de débit, comme avec la pompe à double effet.

Le type classique des pompes ainsi *conjuguées* est la *pompe à incendie*,

composée de deux pompes foulantes placées côte à côte dans une même bâche et refoulant dans un même récipient d'air.

La pompe Letestu, très répandue en France pour les épuisements à faible profondeur, sur les chantiers de travaux, est aussi une pompe double, formée de la réunion de deux pompes aspirantes à mouvement conjugué.

La pompe horizontale Girard, un des meilleurs types de pompes élévatoires, dont les applications sont fort nombreuses aujourd'hui en France et à l'étranger, et que l'on trouve notamment dans les usines élévatoires de la ville de Paris (Saint-Maur, l'Ourcq, Ménilmontant, Montmartre, Laforge, etc.); du canal de l'Est (Vacon, Pierre-la-Treiche) etc., etc., se compose essentiellement de deux pompes à simple effet, placées en regard l'une de l'autre suivant le même axe et pourvues d'un piston plongeur unique.

Très souvent aussi on rencontre des pompes aspirantes et élévatoires, simplement *juxtaposées*, sans liaison entre elles, mais qui refoulent alternativement dans la même conduite.

Dans d'autres cas les deux pompes accouplées ont été *superposées*, et reliées par un tuyau de communication, de manière que le piston de l'une aspire à travers le piston de l'autre, qui lui-même refoule au travers du premier (*fig.* 138). Cette disposition qui se rencontre dans plusieurs des usines élévatoires de la ville de Paris (Austerlitz, Ivry), a reçu des applications assez fréquentes : elle a l'avantage d'assurer aux filets liquides une vitesse toujours dirigée dans le même sens, variable sans doute, mais jamais nulle. On l'a étendue parfois à un jeu de trois pompes, disposées en gradins et reliées deux à deux par des tuyaux de jonction.

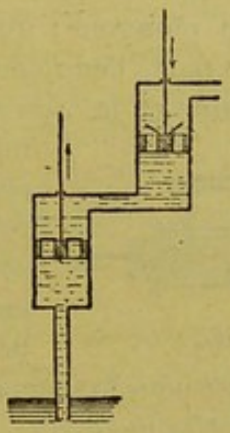


Fig. 138.

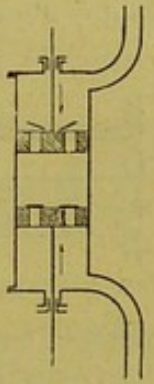


Fig. 139.

La pompe *à deux pistons* (*fig.* 139) n'est qu'une variété des pompes superposées, où le tuyau de communication a disparu et où les deux corps de pompe n'en forment plus qu'un seul : quoique fort ingénieuse, cette pompe n'est pas souvent employée, à cause de la difficulté que présente la commande des deux tiges se mouvant en sens inverse suivant le même axe.

208. Pompes à double effet. — La pompe à double effet proprement dite donne un travail parfaitement symétrique, mais présente l'inconvénient d'inverser à chaque extrémité de la course le mouvement des filets liquides : on lui reproche en outre la difficulté de la visite et de l'entretien de la garniture du piston qui ne peut se faire sans démontage. Cet engin (*fig.* 140) n'en a pas moins reçu de nombreuses et excellentes applications : il est en service dans plusieurs usines de la ville de Paris

dont les machines remontent à une quarantaine d'années (Port à l'Anglais, Maisons-Alfort).

Tout récemment, la pompe à double effet s'est répandue aux États-Unis d'une façon remarquable, sous la forme que lui a donnée la maison Worthington et qui comporte un piston allongé se mouvant dans un cylindre très court ouvert à ses deux extrémités, et disposé au centre d'une cloison partageant en deux parties égales et symétriques une grande chambre d'eau comprise entre deux plateaux garnis de nombreuses soupapes (*fig.* 141).

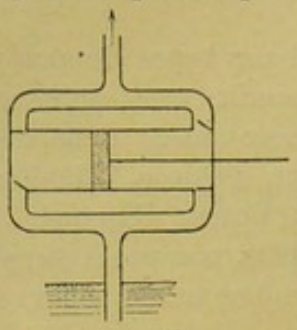


Fig. 140.

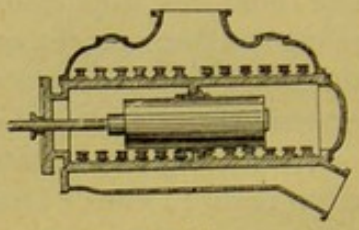


Fig. 141.

La *pompe différentielle* se rapproche de la pompe à double effet, mais elle s'en distingue nettement par cette particularité que, refoulant dans les deux sens de la course du piston, elle aspire dans un seul. Le piston a deux sections différentes et fonctionne à la fois comme piston plein et comme piston plongeur : quand il produit l'aspiration d'une part, il refoule, d'autre part, l'eau comprise dans l'espace annulaire situé entre le corps de pompe et la tige renflée formant plongeur ; quand le mouvement se produit en sens inverse, l'aspiration cesse entièrement, la partie pleine du piston refoule et l'espace annulaire se remplit ; en sorte que, pour équilibrer les efforts, il faut que les deux sections du piston soient entre elles à peu près dans le rapport de 1 à 2. Pour cette pompe, comme pour la pompe à double effet proprement dite, la position horizontale est la meilleure, parce qu'elle permet un guidage plus sûr de la tige du piston et l'expose moins à la flexion.

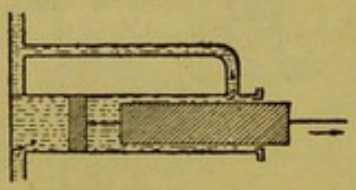


Fig. 142.

209. Jeu des pompes à mouvement alternatif. — Dans toute pompe à mouvement alternatif il y a une capacité, formée par le corps de pompe fixe et le piston mobile, dont le volume change à chaque instant, où l'eau se précipite quand il augmente, d'où elle est chassée quand il diminue. Le mouvement du liquide y est constamment varié, dirigé tantôt dans un sens, tantôt alternativement dans deux sens différents, avec ou sans intervalle de repos. De ces changements de vitesse et de direction résultent des remous, qu'il faut atténuer autant que possible, afin de diminuer les pertes de force vive et d'augmenter l'effet utile de l'appareil. C'est en vue d'obtenir ce résultat que l'on doit s'attacher à

donner à l'eau de larges passages, à rendre aisé et doux le mouvement des soupapes et clapets, à supprimer les causes de chocs, à faciliter l'écoulement de toutes manières.

La vitesse du piston, quel que soit le moteur qui l'actionne, n'est jamais uniforme; nulle aux extrémités de la course, elle va en augmentant jusqu'à un maximum pour décroître ensuite, pendant chacune des deux parties de la course. Si, au moment de l'aspiration, l'eau éprouve de trop grandes résistances dans les tuyaux d'amenée, ou au passage des orifices d'admission, il peut arriver que sa vitesse d'écoulement ne soit pas suffisante, et que, ne pouvant suivre le piston, elle s'en sépare momentanément aux environs du maximum de vitesse de la machine ; lorsque la marche du piston se ralentit, l'eau ne tarde pas alors à le rattraper, en produisant un choc doublement fâcheux, parce qu'il comporte une perte de force vive, un travail inutilisé, et qu'en même temps il détermine des vibrations redoutables pour la conservation du système. Il y a là un écueil qu'il ne faut jamais perdre de vue dans la construction des pompes.

Dans certains cas il est nécessaire d'obtenir des débits variables au moyen d'un même système élévatoire, et l'on a recours à cet effet à divers artifices. Le meilleur, sans contredit, lorsque les circonstances permettent d'y recourir, c'est l'emploi de plusieurs pompes distinctes que l'on met en marche ensemble ou séparément. Mais souvent on se contente d'une pompe unique dont on fait varier le nombre de coups par minute, ou la longueur de course : de ces deux moyens, le premier est sans inconvénient, s'il est appliqué dans des limites restreintes, si la variation ne dépasse pas la proportion de 3 à 4 ou de 2 à 3 par exemple ; le second doit être au contraire évité, parce qu'il a pour effet de produire une usure irrégulière des pièces frottantes, dont certaines parties travaillent constamment et certaines autres à intervalles plus ou moins éloignés.

210. Rôle de l'air. — Les gaz dissous dans l'eau jouent un rôle assez important dans le fonctionnement des pompes. Au moment de l'aspiration, il se produit dans le corps de pompe un abaissement de pression, un vide relatif, qui détermine le dégagement de ces gaz ; des bulles se forment dans toute la masse d'eau, et tendent en vertu de leur faible poids spécifique à gagner les points hauts ; puis, dans la période de refoulement, l'*air* dégagé se comprime, se redissout en partie, ou est entraîné à l'état gazeux. Si la forme du corps de pompe est telle que l'air parvenu au point le plus haut ne puisse s'y maintenir et soit nécessairement entraîné au dehors, la présence des bulles de gaz n'a aucun inconvénient ; au contraire leur mélange avec l'eau communique au liquide une certaine compressibilité qui est plutôt un avantage. Mais s'il peut se former quelque part un *cantonnement d'air*, il en résulte nécessairement une diminution du rendement de la pompe, en même temps

que des chocs dangereux : en effet, la présence dans le corps de pompe d'une masse gazeuse, qui se dilate considérablement au moment du vide, s'oppose à l'admission d'un volume d'eau suffisant, et la contraction, qu'elle éprouve au moment de la compression, détermine de brusques mouvements du liquide et provoque des chocs analogues à celui que l'on obtient dans les laboratoires de physique au moyen du *marteau d'eau*.

Aussi l'air est-il considéré comme un ennemi par les constructeurs de pompes ; et l'on ne doit rien négliger pour en assurer le départ régulier, en empêcher l'accumulation durable ou momentanée en certains points, ainsi que l'évacuation brusque. Lorsque la forme générale de la pompe est telle qu'un cantonnement d'air s'y produit nécessairement, on a recours pour s'en débarrasser à des *ventouses*, ou petits clapets spéciaux automobiles, s'ouvrant de dedans en dehors au moment de la compression : mais le jeu de ces appareils est parfois en défaut, parce que l'air, entraîné par le mouvement de la masse liquide, ne se porte pas exactement pendant le fonctionnement de la pompe à l'endroit où il se placerait à l'état statique, et il en résulte alors des irrégularités et des chocs dont on a grand'peine parfois à démêler la cause et surtout à trouver le remède.

211. Vitesse. Rendement. — Les changements de sens répétés dans la marche du piston, les résistances qu'y oppose la force d'inertie de l'eau, les frottements au passage des orifices d'admission et d'évacuation de l'eau, sont autant de causes qui limitent la vitesse des pompes. Il faut entendre par là, non point la vitesse linéaire du piston, qui peut sans inconvénient varier dans des limites assez étendues, mais le nombre des coups par minute, qui dépasse rarement 25 à 30.

Toute augmentation de vitesse, ayant pour conséquence un accroissement de débit pour une pompe donnée ou une diminution de prix pour le même produit, doit être considérée comme un progrès. Les perfectionnements apportés aux dispositions d'ensemble et de détail des divers types de pompe ont très souvent pour objet d'atténuer les résistances en vue de permettre une augmentation de la vitesse.

Le *rendement en volume* d'une pompe, c'est-à-dire le rapport du volume d'eau élevée au volume engendré par le piston, dépend de l'étanchéité des garnitures, de la tenue des clapets, et des mesures prises pour que l'eau suive aisément le piston ou pour que l'air soit régulièrement et complètement évacué. Dans une bonne pompe le rendement en volume peut être pratiquement presque égal à l'unité, atteindre couramment 95 et 98 pour 100. Il arrive même parfois qu'il s'élève jusqu'à l'unité ou même la dépasse, ce qui s'explique par un effet analogue au coup de bélier, déterminant soit un entraînement dû à la vitesse acquise soit un gonflement du corps de pompe ; mais en pareil cas des chocs, des vibrations sont inévitables, et, loin de rechercher un tel rendement, il convient de ne point l'admettre, afin de ne pas courir le risque d'altérer les divers organes et de compromettre la solidité de l'ensemble.

L'*effet utile* ou *rendement mécanique* est le rapport entre le travail utile et l'effort nécessaire pour l'obtenir. Pour calculer le travail utile, mesuré d'ordinaire *en eau montée*, il suffit de faire le produit du volume d'eau élevé par la hauteur d'élévation. On obtient un rendement mécanique d'autant plus satisfaisant que les frottements sont plus réduits, les résistances opposées au mouvement de l'eau plus atténuées, les chocs entièrement annulés. Ce rendement augmente d'ailleurs avec la hauteur d'élévation ; on le conçoit aisément, si l'on remarque que les résistances passives sont une force constante, dont l'importance relative doit aller en diminuant à mesure que le travail utile s'accroît. Avec une très bonne pompe placée dans des conditions favorables le rendement mécanique peut atteindre et même dépasser 85 pour 100 ; mais très souvent dans la pratique il est sensiblement inférieur à ce chiffre, et, si les dispositions prises sont défectueuses, il peut s'en éloigner beaucoup.

212. **Corps de pompe.** — Nous venons de voir que les pompes supportent des alternatives incessantes de pression et de vide, qu'elles sont exposées à des chocs ; elles doivent donc être construites de manière à présenter une grande résistance. Les *corps de pompe*, presque toujours en fonte, reçoivent à cet effet des formes arrondies et l'on y évite autant que possible les parties plates ; les attaches sont étudiées de manière à obtenir la fixité nécessaire pour s'opposer aux vibrations.

Il est bon de chercher à y réduire autant que possible les pertes de pression résultant des changements de direction des filets liquides, des coudes, des rétrécissements ou des épanouissements brusques, qui ont une assez grande importance lorsque la hauteur d'élévation est faible. Il ne faut pas cependant exagérer l'influence de ces pertes ; quand la hauteur d'élévation est grande, quand les conduites d'aspiration ou de refoulement sont longues, on peut les considérer souvent comme presque négligeables.

Les espaces compris entre les positions extrêmes du piston et les clapets d'admission ou d'évacuation de l'eau reçoivent le nom d'*espaces nuisibles*, parce qu'ils ne sont pas sans inconvénient au moment de l'*amorçage*, quand la pompe fonctionne comme pompe à air ; il peut arriver en effet que la masse gazeuse, qui s'y loge au moment de la compression, soit assez considérable pour prendre, lorsqu'elle se dilate au moment du vide, un volume tel qu'elle réduise ou annihile l'effet de l'aspiration. Mais, en remplissant la pompe d'eau par avance, on supprime radicalement cet inconvénient, à la condition, il est vrai, que les gaz dissous dans l'eau et qui se dégagent par l'effet du vide trouvent un échappement assuré par les clapets de refoulement.

Si cette condition n'était pas remplie, il se produirait un de ces cantonnements d'air, dont nous avons signalé les inconvénients et qu'il faut éviter à tout prix. Aussi l'eau doit-elle monter constamment, dans son passage à travers le corps de pompe, et jamais redescendre : tout point

haut sur son parcours donne nécessairement lieu à une accumulation d'air qui nuit au fonctionnement de l'appareil.

Enfin toutes les mesures doivent être prises pour rendre facile et rapide la visite des pistons et des clapets, la réfection des garnitures, le remplacement des pièces avariées.

213 Pistons. — Le mode de construction des organes mobiles, piston et clapets, a, pour le fonctionnement de toute pompe, une importance considérable. Aussi croyons-nous devoir entrer dans quelques détails au sujet des dispositions qu'on donne le plus souvent à ces organes essentiels.

Le piston plein ou percé et garni de clapets, qui glisse à frottement dans un corps de pompe alésé, doit être pourvu d'une garniture parfaitement étanche, sans quoi la différence des pressions qui s'exercent à chaque instant sur ses deux faces déterminerait le passage de filets d'eau ou de bulles d'air d'un côté à l'autre, au détriment de l'effet utile. Or la perfection de la garniture ne laisse pas que de présenter de sérieuses difficultés : si on lui donne une grande longueur on augmente le frottement et les résistances passives, si elle est trop dure elle raie le cylindre, etc. L'étoupe est employée dans la majorité des cas pour la confection de cette garniture ; mais on y fait usage aussi très fréquemment de cuir, de caoutchouc, de segments métalliques; le cuir embouti et les anneaux de caoutchouc ont cet avantage que c'est la pression même de l'eau qui les applique sur les parois, assurant ainsi l'étanchéité du joint, tout en donnant un frottement assez doux grâce à leur élasticité. Pour refaire la garniture d'un piston de cette espèce il faut nécessairement l'amener hors du corps de pompe, et ce n'est guère que par le bruit occasionné par les fuites que l'on en reconnaît le besoin.

Au contraire on peut s'assurer à chaque instant de l'étanchéité de la garniture d'un piston plongeur, et sans la refaire on peut souvent l'améliorer par un simple serrage des boulons du presse-étoupe.

Dans les pompes verticales, le poids du piston étant supporté par la tige, la garniture ne fatigue pas plus d'un côté que de l'autre et s'use régulièrement ; dans les pompes horizontales, le poids du piston portant nécessairement sur le bas du corps de pompe, la garniture s'use plus vite en-dessous en même temps que le cylindre s'ovalise, et l'on recommande, pour parer à ces inconvénients, soit d'élégir le piston pour en rendre le poids très faible, soit de le tourner de temps en temps pour égaliser l'usure, soit de prolonger la tige de manière à le faire porter sur un plus grand nombre de points.

Le piston des pompes différentielles a l'inconvénient d'exiger deux garnitures dissemblables qu'il est difficile de rendre également bonnes en même temps.

Pour diminuer l'effet de la résistance de l'eau lors des changements de sens du piston et permettre une marche plus rapide de cet organe, on

a été conduit depuis un certain nombre d'années, à en modifier la forme : les pistons plongeurs, qui s'y prêtent plus aisément, ont reçu des abouts

Fig. 143.

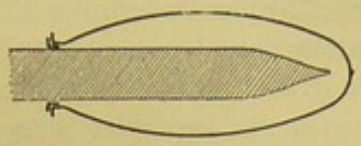


Fig. 144.

arrondis ou effilés, et les résultats ont été remarquablement satisfaisants, surtout lorsqu'on est venu à les compléter en donnant au corps de pompe la forme renflée ou en baril qui a permis d'atteindre des vitesses jusqu'alors inconnues (1^{m},80 par seconde en moyenne, dans les grandes pompes type Girard de l'usine à vapeur de la Ville de Paris, à Saint-Maur).

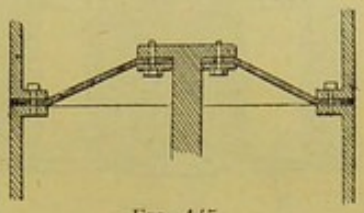


Fig. 145.

On a proposé de remplacer le piston par un disque rendu solidaire d'une membrane ou diaphragme attaché à la paroi du corps de pompe, ce qui supprimerait tout frottement sur cette paroi, en rendrait l'alésage inutile, et annihilerait la garniture (*fig.* 145). Mais jusqu'à présent les pompes à membranes ont reçu peu d'applications.

214. Soupapes et clapets. — Qu'ils soient portés par les pistons ou adaptés aux corps de pompes, *mobiles* ou *dormants*, les clapets jouent un rôle si considérable dans le fonctionnement des pompes qu'ils méritent d'appeler tout particulièrement l'attention.

Dans quelques cas fort rares, mus par le moteur lui-même, ils sont ouverts, par des transmissions spéciales de mouvement, au moment précis où ils doivent livrer passage à l'eau, ou fermés à l'instant où le passage doit cesser. Mais dans la généralité des applications leur mouvement est automatique, ils s'ouvrent et se ferment par l'effet même des variations de pression dans le corps de pompe.

Pour que leur fonctionnement soit entièrement satisfaisant, les clapets doivent :

1° Être étanches — ce qui s'obtient soit par un rodage parfait des surfaces métalliques en contact, soit par l'emploi de substances élastiques, cuir, caoutchouc, etc., soit par l'addition de garnitures en bois, en cuir, en caoutchouc durci, etc. ;

2° S'ouvrir rapidement et sous un effort très faible — d'où la nécessité de réduire au minimum le poids de la partie mobile et d'atténuer les frottements et les résistances passives ;

3° Livrer immédiatement un large passage à l'eau — tant pour diminuer les pertes de force vive dues à la contraction de la veine liquide que pour éviter l'arrêt des corps entraînés par l'eau et qui pourraient s'opposer à une fermeture hermétique ;

4° Se fermer aisément, sans hésitation et sans choc — ce qui sup-

pose une levée faible, un guidage sûr, et une surface relativement petite.

Il est difficile de remplir à la fois toutes ces conditions dont quelques-unes mêmes sont contradictoires, et, pour s'en rapprocher, on a imaginé un très grand nombre de dispositions.

Les clapets les plus simples se composent d'un *disque* en métal battant sur un siège également en métal, ou d'une rondelle plate en cuir ou en caoutchouc s'appuyant sur une pièce métallique en forme de grille : la *levée* est limitée par un dispositif qui sert en même temps à guider le mouvement. Ce type de soupape

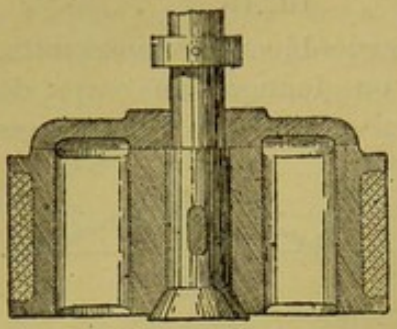


Fig. 146.

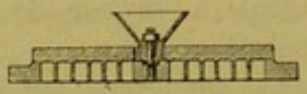


Fig. 147.

est léger, il ne comporte presque pas de frottement, mais il expose une grande surface à la pression et convient par suite plus particulièrement pour les pompes travaillant sous une pression modérée. Les soupapes Letestu, bien que de forme tronconique, se rattachent à ce type : elles se composent en effet de lames de cuir, battant sur un siège métallique percé de trous ; fixées vers l'axe et entièrement libres à la circonférence, elles laissent aisément passer tous les corps solides entraînés par l'eau.

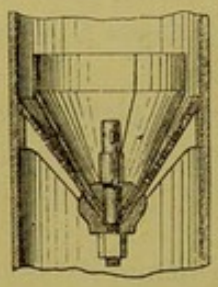


Fig. 148.

Les *soupapes à boulet* se comportent de la même manière, elles ne se coincent pas et retombent aisément sur leur siège ; mais si elles sont en métal, elles ont l'inconvénient d'être lourdes, même lorsqu'on les fait creuses, et de se mater par suite sur le siège, ce qui altère bientôt la sphéricité ; en caoutchouc on ne peut dépasser d'assez faibles dimensions.

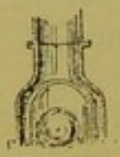


Fig. 149.

Les *clapets à charnières*, très usités, reçoivent diverses dispositions ; tantôt c'est un disque en métal, avec charnières également

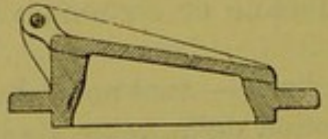


Fig. 150.

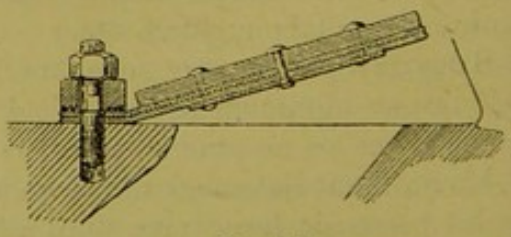


Fig. 151.

en métal, tantôt une lame de cuir flexible, fixée sur le siège et formant la charnière, et que renforcent deux lames de tôle de manière

à lui permettre de résister à la pression. Le poids de ces clapets peut varier à volonté, ils donnent de grandes ouvertures, la levée se limite aisément au moyen d'un taquet d'arrêt; mais la surface exposée à la pression est grande, et la charnière donne lieu à des frottements qui ont pour conséquence une usure rapide.

Pour assurer et régulariser la fermeture des soupapes on a souvent recours à des *ressorts*. Les clapets Girard, dont le fonctionnement est excellent, se composent d'un disque métallique surmonté d'une tige et

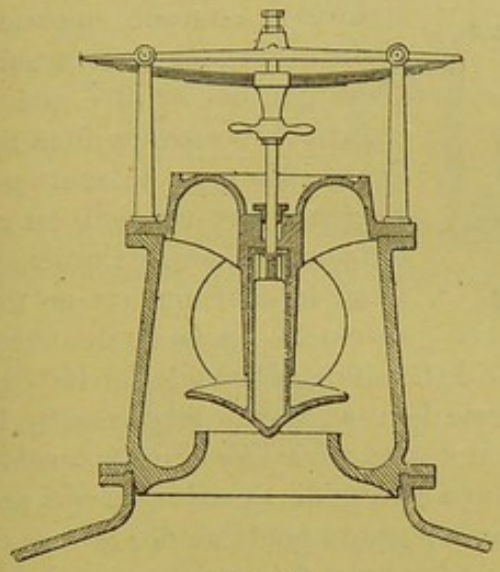


Fig. 152.

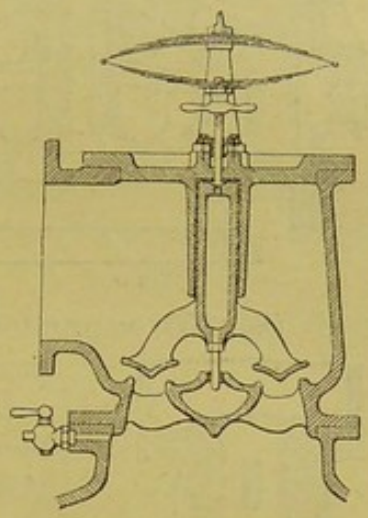


Fig. 153.

d'un ressort à pincette ou ressort de voiture dont on peut régler la tension à volonté. Ils ont l'avantage de rendre bien apparent à l'extérieur le mouvement de la soupape, ce qui en facilite singulièrement la surveillance. Le ressort à pincette peut d'ailleurs être remplacé par un ressort en spirale ou à boudin. Lorsqu'on ne dispose pas d'une grande section et que l'on veut avoir néanmoins un large passage d'eau, on a recours à un artifice

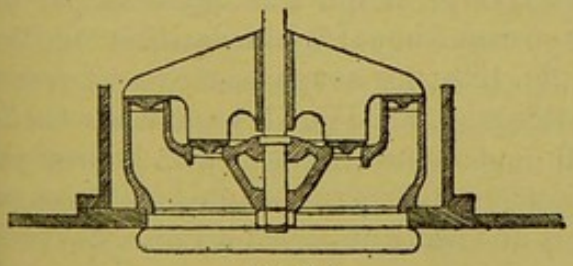


Fig. 154.

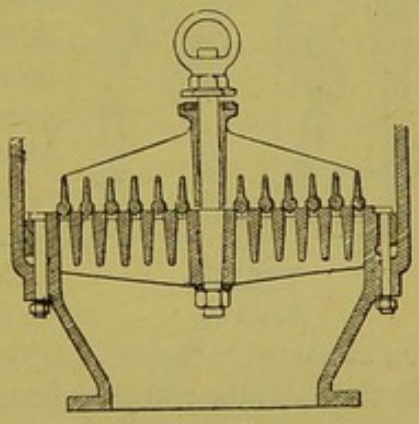


Fig. 155.

qui consiste à remplacer le disque unique par une ou plusieurs couronnes concentriques découvrant, au moment de la levée, des orifices en forme de rainures circulaires. Quand la soupape se compose d'une couronne elle est dite *à double battement* : — telle est celle représentée par la figure 153 et qui a été appliquée à Paris à l'usine élévatoire de l'Ourcq.

Avec deux couronnes concentriques, la soupape présente quatre battements : les grandes pompes de Berlin (*fig.* 154) en offrent un exemple. Mais on a sans doute été un peu loin dans cette même ville lorsqu'on a admis des soupapes à douze battements (*fig.* 155), car les passages d'eau deviennent alors bien étroits et doivent donner lieu à des contractions et à des pertes de charge considérables.

L'emploi d'un double battement permet de réduire autant qu'on le veut, en donnant une forme spéciale à la couronne mobile, la surface exposée à la pression. C'est par cet artifice que l'on obtient les soupapes dites *équilibrées*. Un type de soupape de ce genre fort répandu est celui qui porte le nom de Cornouailles et où la couronne est en forme de cloche : nous en donnons un exemple (*fig.* 156) emprunté à l'usine de Chaillot, à Paris. Il s'en fait également en forme de tronc de cône renversé (*fig.* 157).

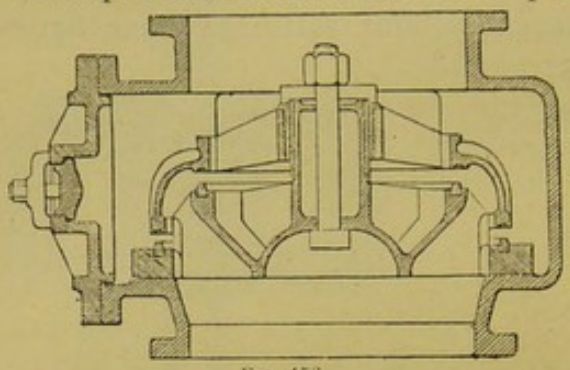


Fig. 156.

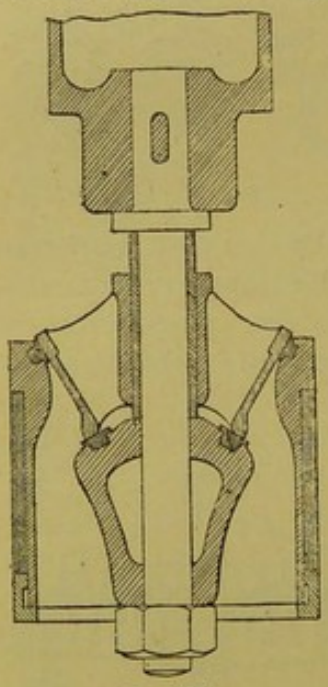


Fig. 157.

Lorsqu'on désire offrir une section considérable au passage du liquide, sans donner aux pièces mobiles un trop grand poids ou des formes compliquées, on renonce fréquemment à l'emploi d'une grande soupape unique, et on la remplace par des *soupapes multiples*. Dans cette catégorie se rangent : les soupapes formées de couronnes concentriques indépendantes, les soupapes *étagées* disposées sur un siège en forme de pyramide (*fig.* 158) ; les soupapes juxtaposées à charnières parallèles, appliquées par M. Farcot aux pompes de la Ville de Paris dans les usines Saint-Maur et d'Ivry, et qui sont pressées par des ressorts en caoutchouc réglables au besoin de l'extérieur (*fig.* 159) ; les soupapes-disques à ressort de Worthington, ainsi que les soupapes Corliss de $0^m,06$ de diamètre, formées d'un anneau plat en métal, avec ressort spirale aplati (*fig.* 160), et qui ont été appliquées par le Creusot aux pompes élévatoires de l'usine de Javel, à Paris. Ces petits clapets, légers et très mobiles, conviennent bien aux pompes à grande vitesse, tandis que les grandes soupapes pesantes ne sauraient s'appliquer qu'à des pompes à marche lente.

Souvent les soupapes dormantes sont placées dans des boîtes spéciales ou *chapelles* disposées au-dessous, au-dessus ou à côté du corps de pompe : c'est le cas des soupapes de Cornouailles ou des clapets Girard.

D'autres fois elles se trouvent dans un second corps cylindrique placé à côté de la pompe proprement dite (*fig.* 161). L'une et l'autre disposition

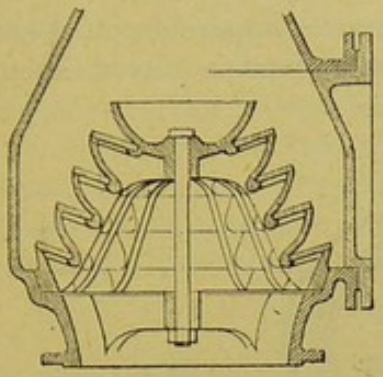


Fig. 158.

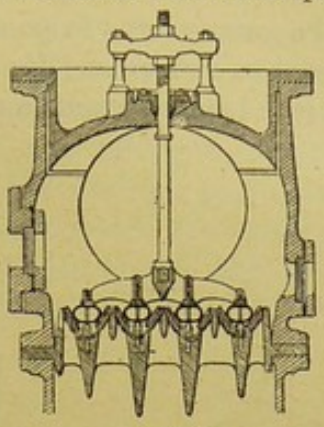
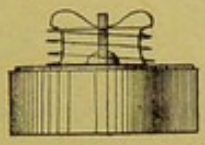


Fig. 159.

permet de leur donner des sections aussi grandes que l'on veut. Au contraire les clapets placés sur les pistons présentent souvent des ouvertures



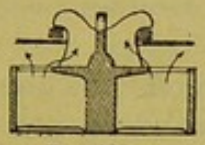


Fig. 160.

Fig. 161.

insuffisantes, et les artifices auxquels on a recours pour livrer un plus grand passage à l'eau ne parviennent pas à remédier entièrement à cet inconvénient.

215. Pompes oscillantes. — Nous nous bornons à signaler en passant les *pompes oscillantes,* qui n'ont guère reçu d'applications, mais n'en ont pas moins un certain intérêt, parce qu'elles marquent la transition entre les pompes à mouvement rectiligne et les pompes rotatives. L'organe mobile, qui remplace le piston, y est animé d'un mouvement angulaire alternatif, produisant l'aspiration et le refoulement de l'eau.

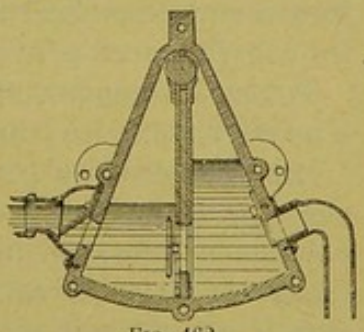


Fig. 162.

C'est presque toujours une palette portant une soupape, et qui se meut dans une boîte, à base de secteur circulaire, pourvue de deux orifices munis de clapets : le jeu de l'appareil est tout à fait analogue à celui de la pompe rectiligne à simple effet.

Dans la *pompe à vanne* (*fig.* 163) les soupapes sont dormantes, et de part et d'autre de la palette se produisent des alternatives de pression et de vide comme dans la pompe rectiligne à double effet.

Il peut se rencontrer des cas où ce genre d'appareils soit avantageux, parce que le mouvement angulaire s'obtient parfois plus aisément que le

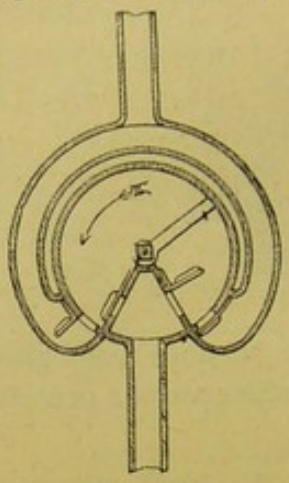


Fig. 163.

mouvement rectiligne ; mais l'étanchéité y laisse toujours beaucoup à désirer, à cause de la difficulté d'adapter des garnitures à la palette mobile.

216. Pompes rotatives. — Les *pompes rotatives*, qui paraissent avoir une tendance à se propager et reçoivent sous diverses formes des applications variées, ont un avantage théorique certain sur les pompes à mouvement alternatif. Elles communiquent en effet au liquide un mouvement continu, toujours de même sens, beaucoup plus favorable à l'utilisation de la force que le fonctionnement saccadé des pompes ordinaires. Mais l'impossibilité d'y appliquer des garnitures et d'y obtenir un contact précis des surfaces frottantes est un obstacle pratique à leur généralisation ; elles ne peuvent pas être étanches ; et l'on a même observé qu'elles donnent de meilleurs résultats lorsqu'on y laisse un peu de jeu entre les organes que lorsqu'on y crée, en supprimant ce jeu, des frottements entre les surfaces solides ou des efforts de compression dont les conséquences peuvent être fâcheuses.

Toutes les pompes rotatives se ramènent à deux types, les pompes *à un seul axe* et les pompes à deux ou *à plusieurs axes*.

Les premières se composent d'un disque tournant dans un tambour, par rapport auquel il est excentré, et portant un certain nombre de palettes mobiles, qui limitent entre la paroi intérieure et le disque des espaces de capacité variable, communiquant tantôt avec l'aspiration tantôt avec le refoulement sans l'intermédiaire de soupapes. Deux palettes au moins sont nécessaires, et l'on en emploie rarement plus de quatre (*fig.* 164) ; elles s'appliquent sur la paroi du tambour, soit en vertu de leur poids, soit par l'action de ressorts ; mais, dans un cas comme dans l'autre,

elles donnent lieu à des frottements assez considérables de sorte que le rendement est médiocre.

Dans les pompes à deux axes, dont le type primitif est la *pompe à engrenages* (*fig.* 165), les frottements sont moindres ; et, bien que cet avantage soit compensé par la nécessité de faire entraîner le second arbre par le premier au moyen d'une transmission spéciale, le rendement est généralement meilleur. Mais il faut prendre des précautions particulières pour maintenir exactement les positions respectives des deux arbres et éviter la torsion. Les types les plus récents se distinguent par le soin avec lequel on y a étudié la loi de l'écoulement, afin d'offrir à chaque

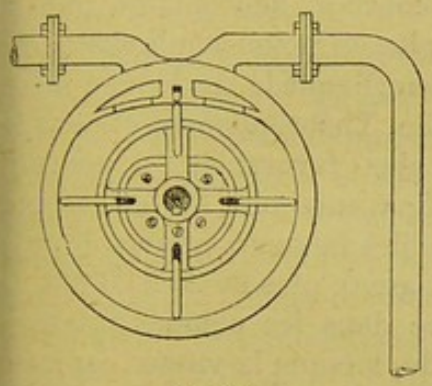


Fig. 164.

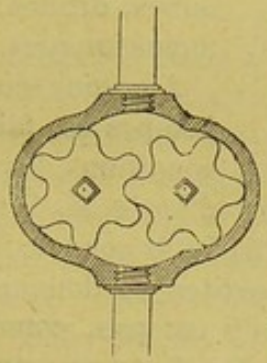


Fig. 165.

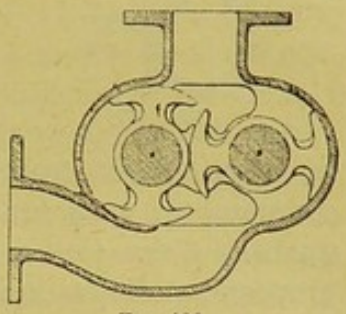


Fig. 166.

instant à l'eau la section convenable, supprimer par suite toute compression, et réaliser un effet régulier et constant. La pompe Greindl (*fig.* 166) paraît être celle qui, actuellement, remplit le mieux ces deux conditions : son rendement effectif, d'après M. Poillon, atteindrait 77 0/0.

Ainsi donc, quoi que l'on ait pu en attendre, les pompes rotatives ne donnent pas en pratique des résultats aussi parfaits que les bonnes pompes à mouvement rectiligne alternatif. D'ailleurs elles ne peuvent s'appliquer aux élévations à grande hauteur, à cause de leur manque d'étanchéité, ni au passage d'eaux troubles ou chargées de sable qui ne tarderaient pas à les engorger, ou en détermineraient l'usure rapide. Elles se recommandent cependant dans nombre de circonstances par leur grande simplicité d'organes, leur aptitude aux grandes vitesses, et les facilités de commande et d'installation qui en résultent.

217. Pompes centrifuges. — L'organe mobile dans les *pompes centrifuges* est aussi animé d'un mouvement de rotation ; mais, quelle qu'en soit la forme, il ne fait pas piston, et c'est la force centrifuge seule qui détermine le refoulement de l'eau vers la circonférence et par suite l'aspiration au centre. La force centrifuge augmentant avec la vitesse, on conçoit qu'il faut faire tourner l'organe mobile d'autant plus rapidement que l'effort requis est plus grand, la hauteur à franchir plus considérable. Mais il y a des limites pratiques qu'il convient de ne pas dépasser ; et c'est pourquoi les pompes centrifuges, dont le fonctionnement est satisfaisant jusqu'à 10 et 15 mètres, ne peuvent guère aller au delà. D'autre

part, il est vrai, les ouvertures, les passages d'eau peuvent y être fort larges sans inconvénients, de sorte qu'elles s'accommodent des eaux les plus chargées, des eaux d'égout par exemple; aussi, ont-elles été préférées à toutes autres pour le relèvement des eaux du collecteur d'Asnières à l'usine de Clichy.

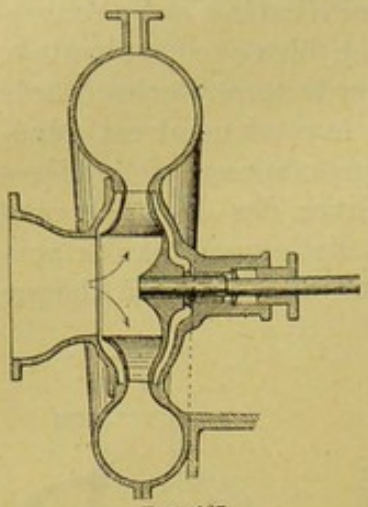


Fig. 167.

Nous nous en tiendrons à ces considérations, et nous n'aborderons pas la description détaillée des types nombreux de pompes centrifuges à axe horizontal ou vertical, à palettes ou aubes, droites, courbes, hélicoïdales, plus ou moins longues, plus ou moins nombreuses, etc.

Ajoutons seulement que le rendement de ces pompes est faible. Théoriquement et dans les conditions les plus favorables, il pourrait, d'après M. Poillon, atteindre 66 0/0; en pratique on obtient jusqu'à 55 0/0 pour de faibles hauteurs et avec de grosses pompes, mais les petites ne donnent guère plus de 25 à 30 0/0. La quantité d'eau élevée n'y est pas, comme dans les pompes rotatives, proportionnelle au nombre de tours : nulle, lorsque la vitesse est insuffisante, elle augmente ensuite avec le nombre de tours, mais sans suivre la même progression.

§ 3.

ASPIRATION

218. Observations générales. — Dans toute installation de pompes, il faut apporter la plus grande attention aux dispositions prises, soit pour l'aspiration, soit pour le refoulement. De ces dispositions, en effet, dépend en partie le bon fonctionnement du système, dont le choix même est souvent commandé par les conditions spéciales du refoulement et de l'aspiration.

La hauteur de l'aspiration, par exemple, peut être dans certains cas un motif péremptoire pour écarter les pompes horizontales et donner la préférence aux pompes verticales, qu'il est plus facile de placer au niveau convenable, à moins qu'on ne se résigne à adapter à la machine élévatoire un organe supplémentaire, destiné à élever l'eau une première fois dans une bâche où elle sera reprise par les pompes horizontales, et auquel son rôle spécial a valu le nom de *pompe nourricière*.

On doit éviter, autant que possible, les conduites de grande longueur à l'aspiration, soit à cause des pertes de charge qui en résultent, surtout si le diamètre est faible, et des chocs qui en sont la conséquence, par suite

de la difficulté qu'éprouve l'eau à suivre le piston de la pompe, soit par crainte de multiplier les joints, c'est-à-dire les chances de rentrée d'air ou même d'eau empruntée à la nappe superficielle au détriment du jeu de la pompe ou de la qualité de l'eau élevée. Les sinuosités, les coudes brusques, les étranglements, les variations de section, sont autant de causes de pertes de charge, qu'il faut sans doute subir parfois, mais qu'on doit toujours réduire autant que possible.

Pour qu'une pompe marche dans de bonnes conditions, il faut donc que la hauteur d'aspiration soit modérée (6 à 7 mètres au plus), la longueur du tuyau d'aspiration faible, son diamètre suffisant et régulier, son tracé peu accidenté.

219. Dégagement des gaz dissous. — Nous avons déjà signalé le rôle important que jouent les gaz, qui se dégagent de l'eau pendant l'aspiration, dans le fonctionnement des pompes. C'est à l'intérieur de la conduite d'aspiration que le dégagement des gaz dissous commence à ce produire et il faut en tenir grand compte pour l'étude des dispositions à donner à cette conduite. Ainsi, l'eau doit la parcourir toujours en montant, sans jamais redescendre ; car tout point haut sur le parcours déterminerait un cantonnement d'air, qui ne tarderait pas à devenir un obstacle à l'écoulement, et pourrait même en amener l'arrêt complet en provoquant le *désamorçage* de la pompe. Si le cantonnement d'air est voisin de l'orifice d'admission de l'eau dans le corps de pompe, il peut donner lieu à un phénomène singulier dont l'explication échappe au premier abord : à certains moments des coups, des chocs graves se produisent dans la pompe, puis disparaissent pour se reproduire à quelque temps d'intervalle ; ils sont dus au passage d'énormes bulles d'air qui s'engouffrent tout à coup dans la pompe, quand le cantonnement d'air a pris d'assez grandes proportions pour qu'une partie de la masse gazeuse soit entraînée par le liquide.

Quelquefois des circonstances locales ne permettent pas d'éviter un point haut sur le parcours de la conduite d'aspiration. On doit alors, pour conjurer d'avance les inconvénients du cantonnement d'air, pourvoir à son évacuation en disposant à cet effet un éjecteur, une pompe spéciale, ou tout simplement, si c'est possible, un tuyau ascendant de petit diamètre reliant le point haut au corps de pompe.

220. Réservoir d'air d'aspiration. — Lorsque la conduite d'aspiration est longue et sinueuse, alors même qu'elle ne serait pas exposée à des cantonnements d'air, que les pertes de charge n'y seraient pas trop grandes et que l'eau suivrait le piston sans difficulté, elle n'en donne pas moins lieu à des chocs toutes les fois que la colonne d'eau est brusquement arrêtée ou brusquement mise en route. L'incompressibilité du liquide et l'inertie de la masse ont en effet pour conséquence un coup de bélier dans le premier cas, et, dans le second, un retard suivi d'une accélération subite, qui provoque également un coup de bélier.

Pour faire disparaître ces effets fâcheux, qui, dans les pompes à mouvement alternatif, se produiraient à chaque course du piston, ou tout au moins pour les atténuer, on utilise le dégagement d'air qui se produit dans la conduite : la masse gazeuse est accumulée dans une capacité spéciale, où elle forme une sorte de matelas compressible, destiné à recevoir le choc au moment de l'arrêt de la colonne, et de ressort appelé à vaincre l'inertie au moment de la mise en route.

Cette capacité, qui prend le nom de *réservoir d'air d'aspiration*, est disposée près de l'orifice d'admission dans le corps de pompe ; ses dimensions varient avec celles du corps de pompe ou plutôt avec le volume de la *cylindrée*, avec la hauteur de l'aspiration aussi, et doivent être calculées, dans chaque cas, de manière à produire une atténuation suffisante des chocs. Elle joue d'autre part durant la course un rôle secondaire, qui n'est pas sans intérêt, et qui consiste à corriger les effets dus à la variation de la vitesse du piston, en régularisant l'écoulement de l'eau, de manière qu'elle ne se précipite point sur le piston lorsqu'il se ralentit et ne cesse pas de le suivre lorsque son mouvement s'accélère. M. König recommande l'emploi du réservoir d'air toutes les fois que la hauteur de l'aspiration dépasse 6 mètres et la longueur 15 mètres ; et il conseille de lui donner pratiquement une capacité égale au volume d'eau débité par la pompe en une minute.

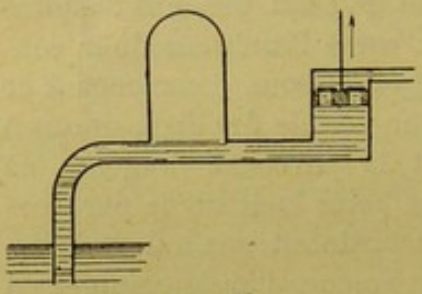


Fig. 168.

La forme à donner au réservoir d'air n'est pas indifférente, car il importe d'éviter les inconvénients des cantonnements d'air spontanés, les chocs, les rentrées brusques de grosses bulles dans le corps de pompe, etc. Le plus souvent il se compose d'une cloche verticale en forme de cylindre surmonté d'une demi-sphère : l'air s'y accumule alors par l'effet même de l'aspiration, jusqu'au moment où le plan séparatif de l'eau et de la masse gazeuse atteint le niveau de la génératrice supérieure de la conduite d'aspiration ; le volume d'air cesse alors d'augmenter, parce qu'à chaque oscillation de petites bulles s'en détachent pour suivre la génératrice supérieure de la conduite et pénétrer dans le corps de pompe, de sorte que le niveau séparatif reste constant. Quelquefois on a donné bien à tort au réservoir d'air la forme d'un corps cylindrique horizontal, à l'une des extrémités duquel plonge la prise d'eau de la pompe, tandis que l'autre reçoit le débouché de la conduite d'aspiration : dans ces conditions, le plan séparatif de l'air et de l'eau ne se maintient pas à un niveau constant, il s'incline tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, à chaque mouvement du piston de la pompe ; et, lorsque ces oscillations deviennent considérables, l'air s'introduit par grosses bulles dans la pompe et y provoque des désordres ; au lieu de se régler de lui-même comme dans le cas pré-

cédent, l'appareil exige des soins continus, il faut y introduire de l'eau si le volume d'air est trop grand, de l'air au contraire s'il est insuffisant.

221. Amorçage des pompes. — Ce qui vient d'être dit se rapporte au fonctionnement normal des pompes ; il y a lieu de se préoccuper en outre de leur mise en route et des dispositions à prendre pour la faciliter en réalisant l'*amorçage*.

Pour amorcer une pompe, il faut évacuer l'air qui remplit l'espace compris entre le piston et le niveau de l'eau dans les conduites d'aspiration, et remplir d'eau ce même espace. On y parvient en faisant fonctionner quelque temps la pompe comme pompe d'air ; à chaque coup une fraction du volume d'air emprisonné est chassée au dehors, et l'eau s'élève peu à peu dans la conduite d'aspiration. Mais l'opération ne réussit que si la hauteur d'aspiration est assez faible pour ne pas exiger un vide trop parfait, s'il n'y a pas de rentrée d'air, et si les *espaces nuisibles*, où l'air s'emmagasine au moment du refoulement, sont assez petits pour ne pas contenir une masse gazeuse capable de remplir la pompe ou tout au moins d'y empêcher l'afflux de l'eau lors de l'aspiration.

Souvent, en vue de faciliter l'amorçage, on place au bas de la conduite d'aspiration un clapet, dit *clapet de pied,* qui a pour objet de permettre le remplissage de la conduite au moyen d'un tuyau d'alimentation, et qui doit en outre maintenir la conduite pleine pendant les arrêts de la pompe. Mais ce clapet est un organe mobile de plus, que sa position même interdit de visiter et de réparer commodément, et qui, dans les grandes pompes surtout, peut causer plus d'ennuis qu'il ne rend de services. On y a complètement renoncé dans les usines élévatoires de la ville de Paris, bien qu'elles contiennent plus d'une pompe aspirant à grande profondeur ; on se contente, lorsqu'il faut procéder à l'amorçage d'une pompe, de la faire fonctionner comme pompe d'air pendant quelque temps, après avoir introduit dans le corps de pompe une quantité d'eau suffisante pour remplir les espaces nuisibles.

§ 4.

REFOULEMENT

222. Inertie de la colonne d'eau. — Le refoulement d'une cylindrée d'eau dans la conduite ascensionnelle détermine nécessairement un mouvement général de la masse d'eau qui y est contenue, puisque l'incompressibilité du liquide s'oppose à ce que le volume d'eau supplémentaire introduit y trouve sa place sans qu'un volume égal soit rejeté au dehors à l'extrémité opposée. On conçoit que ce mouvement général ne s'opère

ni instantanément ni sans résistance et qu'il y ait un effort à faire pour vaincre, en dehors des frottements, l'*inertie* de la colonne d'eau.

Si la longueur de la colonne est grande, l'inertie y prend une importance considérable, le mouvement intermittent du piston ne pouvant s'y transmettre qu'avec une certaine lenteur tend à y produire des mouvements ondulatoires qui se propagent peu à peu dans la masse entière ; il en résulterait au début des coups de bélier extrêmement violents, et, en marche normale, des soubresauts et des vibrations continuelles, qui ne manqueraient pas d'amener des ruptures ou tout au moins une détérioration rapide de la conduite, si l'on n'y parait par des dispositions spéciales destinées à rendre ces effets moins violents et moins redoutables.

On les atténue déjà en refoulant sur une même conduite au moyen de plusieurs pompes conjuguées au lieu d'une seule ; chaque coup de piston n'introduisant dans la colonne qu'un volume d'eau réduit, et les coups successifs s'intercalant d'une façon régulière, le mouvement ondulatoire devient plus rapide et l'amplitude des vibrations diminue. Cet effet s'accentue encore avec les pompes rotatives ou centrifuges qui tendent à substituer un mouvement continu aux mouvements alternatifs des pompes ordinaires, si bien que dans un grand nombre d'applications on se dispense avec ces pompes de toute addition ayant pour but de remédier à l'inertie de la colonne de refoulement.

223. Châteaux d'eau. — L'idée la plus simple et la plus naturelle qui puisse venir à l'esprit, quand on cherche un moyen d'éviter les inconvénients que nous venons de signaler, c'est évidemment de s'efforcer de réduire au minimum la longueur de la conduite de refoulement en plaçant le réservoir à alimenter dans le voisinage des pompes. Mais, comme il n'est pas toujours possible de le faire, on peut se mettre dans des conditions analogues en disposant, à côté des pompes et à la hauteur convenable, un petit bassin, où l'on fait aboutir l'eau refoulée et d'où elle s'écoule ensuite jusqu'au réservoir par le seul effet de la gravité. C'est cette solution qu'avait adoptée Rennequin, à Marly ; sa machine élevait l'eau directement sur le côteau, à l'origine d'un aqueduc qui la conduisait à Versailles.

Les *châteaux d'eau* sont fondés sur le même principe. La conduite ascensionnelle se dresse verticalement dans le voisinage immédiat des pompes, et débouche dans une petite bâche, où vient s'épanouir l'eau refoulée par elles ; une deuxième conduite, descendante et juxtaposée à la première, a son origine dans la bâche, et l'eau s'y met en pression pour gagner de là le réservoir ou le réseau de distribution. La tour qui surmonte le puits artésien de Grenelle est un véritable château d'eau ; les frères Périer avaient eu recours à un château d'eau pour la pompe à feu du Gros-Caillou, établie à Paris en un point très éloigné des côteaux ; on en trouve à Toulouse, à Brive ; plus récemment M Dumont en a fait à Lyon une application en élevant, à côté de la machine destinée au ser-

vice de Fourvières, la colonne en fonte de 55 mètres de hauteur qui a reçu le nom de colonne de Montessuy.

En Angleterre et en Amérique, on a substitué au château d'eau, sous la désignation de *stand-pipe*, un simple tuyau vertical ouvert à la partie supérieure ; en d'autres termes, on a supprimé la bâche et réuni en une seule les deux conduites verticales ascendante et descendante. Si la section du tuyau unique est suffisante, on obtient ainsi, à moins de frais, un résultat analogue à celui que procure le château d'eau, avec cette différence cependant que la pression varie dans la conduite suivant les oscillations du niveau de l'eau dans la colonne à air libre, tandis que la bâche à niveau constant du château d'eau la maintient parfaitement régulière, ou, en d'autres termes, qu'il n'y a pas, comme avec le château d'eau, une solution de continuité affranchissant complètement les pompes du contre-coup des effets qui peuvent se produire au delà dans la conduite forcée ou dans le réseau desservi par elle.

224. Réservoirs d'air de refoulement. — A moins de circonstances toutes spéciales, il n'y a plus lieu de recourir à des châteaux d'eau ou à des ouvrages analogues, dispendieux et incommodes, depuis que l'on a imaginé d'employer pour le même objet des *réservoirs d'air*, dont le prix est insignifiant et l'efficacité incontestable, et qui sont devenus l'accessoire obligé de toute pompe élévatoire à mouvement alternatif.

Ils se composent, comme les réservoirs d'air d'aspiration, d'une simple cloche, placée sur le parcours de la conduite de refoulement et le plus près possible de la pompe, et que l'on maintient remplie d'air à un niveau convenable ; mais ici l'air est à une pression supérieure à celle de l'atmosphère, tandis qu'il est à une pression inférieure dans les réservoirs d'air d'aspiration.

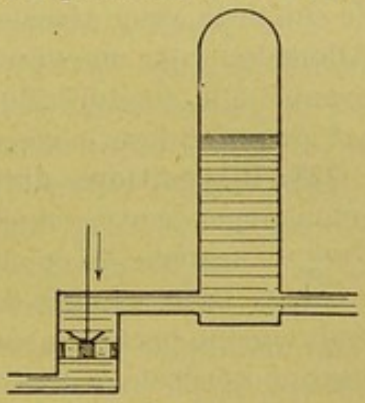


Fig. 169.

A chaque coup de piston le volume d'eau refoulé s'introduit dans cette capacité, sans avoir à vaincre l'inertie d'une masse d'eau considérable, et vient comprimer l'air qui y est emmagasiné ; puis l'air comprimé se détend, et, reprenant son volume primitif, refoule un égal volume d'eau dans la conduite ascensionnelle par un mouvement progressif et régulier. Si les proportions du réservoir d'air sont bonnes par rapport au volume de la cylindrée et si l'air y est maintenu avec soin au niveau convenable, le résultat obtenu est tellement parfait que le mouvement de l'eau dans la conduite devient absolument uniforme, et qu'elle arrive d'une façon continue à l'extrémité de cette conduite, sans qu'on puisse y saisir la moindre trace de secousses ou de mouvements ondulatoires. Tout se réduit à une simple oscillation verticale du niveau de l'eau dans la cloche.

Pour calculer la capacité à donner aux réservoirs d'air, on se donne

soit l'amplitude d'oscillation, soit la variation de pression que l'on ne veut pas dépasser ; dans la majorité des cas cette capacité varie entre 10 et 20 cylindrées. La forme des réservoirs d'air n'est pas indifférente ; il y a notamment avantage à en augmenter la hauteur en diminuant la section de manière à ne pas favoriser la dissolution de l'air dans l'eau qui est proportionnelle à l'étendue de la surface où elle s'opère : ce motif a fait préférer quelquefois à la cloche cylindrique une forme en tronc de cône renversé.

Il faut, en effet, prendre des précautions spéciales pour avoir constamment de l'air en quantité suffisante dans les réservoirs d'air ; sous l'influence de la pression il a tendance à se dissoudre, et disparaît peu à peu en conséquence, si l'on n'a pas soin de le renouveler de temps à autre ou même d'une façon continue. Souvent il est nécessaire de munir les machines élévatoires d'une petite pompe spéciale de compression. Très fréquemment aussi on se contente de ménager sur l'aspiration une petite prise d'air, dite *reniflard*, dont on règle l'ouverture de manière à faire passer exactement la quantité d'air voulue pour maintenir le niveau convenable dans le réservoir, ce dont on s'assure aisément au moyen d'un tube de niveau en verre ou d'un jeu de trois robinets. Ce dernier procédé n'est applicable que lorsqu'il y a une certaine hauteur d'aspiration et il a pour conséquence une légère diminution du rendement en volume de la pompe ; d'autre part, la pompe d'air spéciale est une cause de sujétions assez sérieuses. On la remplace parfois, en Angleterre et en Allemagne, par un cylindre que l'on remplit alternativement d'eau empruntée à la conduite de refoulement et d'air fourni par l'atmosphère ; cet air passe dans le réservoir à chaque manœuvre de robinets.

225. Dispositions diverses du refoulement. — La tuyauterie de refoulement peut recevoir deux dispositions différentes : tantôt elle constitue un système de conduites tout spécial qui n'a pas d'autre rôle que de conduire l'eau refoulée de la pompe au réservoir, sans qu'il en soit distrait aucune partie en route ; tantôt au contraire elle est reliée à la canalisation générale de distribution, alimente sur son parcours un certain nombre de prises, et n'amène au réservoir que la quantité d'eau excédente qui n'a pas été consommée en route.

De ces deux dispositions c'est la seconde, à coup sûr la plus économique, qui est le plus fréquemment adoptée dans les petites installations, où la considération de la dépense prime toutes les autres. Elle a l'inconvénient de faire travailler les pompes sous une pression constamment variable, ce qui en rend le fonctionnement moins bon et la surveillance moins sûre, de masquer la production des fuites qui peuvent en conséquence échapper longtemps à toutes les recherches, d'empêcher toute vérification possible de la marche régulière et du rendement des pompes, etc. L'autre disposition est bien préférable, s'il ne faut pas en acheter trop cher les avantages ; la pression sur les pompes étant constante,

la moindre variation du manomètre indique à coup sûr une perturbation et appelle par suite l'attention du personnel, une fuite sur la conduite ascensionnelle n'arrête pas la distribution même partiellement, les expériences pour la vérification du rendement en volume des pompes sont extrêmement faciles. Le choix à faire entre les deux solutions est une question d'espèce qui ne peut être tranchée *à priori* d'une manière générale.

226. Conduites ascensionnelles. — Les conduites de refoulement proprement dites, ne faisant pas de service en route, peuvent être posées, comme toutes les conduites forcées, suivant un profil quelconque. Cependant il est bon d'éviter autant que possible les points hauts intermédiaires, à cause des accumulations d'air qui s'y produisent et dont on a toujours de la peine à se débarrasser, et de gagner le réservoir par une série continue de rampes sans aucune contre-pente.

Le diamètre à donner aux conduites de refoulement est indéterminé, puisqu'on peut, en augmentant la force des machines, vaincre l'excès de perte de charge résultant d'un accroissement de débit pour un diamètre donné ou d'une réduction de diamètre pour un volume d'eau fixe ; mais il convient, en pratique, de rester dans des limites assez peu étendues afin de ne pas forcer la dépense des conduites d'une part et de ne pas s'exposer d'autre part à des frottements considérables qui auraient plus d'un inconvénient. On se propose le plus habituellement d'obtenir une vitesse d'écoulement variant de 0^m, 60 à 1 mètre par seconde.

Toute conduite ascensionnelle part de la pompe ou mieux du réservoir d'air correspondant, et va déboucher soit dans le bassin même où l'eau doit être emmagasinée, soit dans une petite bâche spéciale d'où on peut la répartir à volonté entre les divers compartiments du bassin. Des robinets d'arrêt sont placés assez souvent en certains points de sa longueur de manière à la partager en plusieurs biefs que l'on peut vider séparément ; mais il est à craindre qu'un de ces robinets reste fermé par erreur au moment où l'on mettrait la pompe en route, ce qui déterminerait nécessairement une rupture ; à la suite d'accidents de ce genre, le service des eaux de Paris a renoncé à l'emploi des robinets d'arrêt, et les conduites ascensionnelles de ses diverses usines n'en sont plus munies ailleurs qu'à la sortie même du réservoir d'air. Il est vrai que, pour parer au danger d'une mise en route des pompes sur une conduite de refoulement barrée, on place quelquefois sur les conduites, à la sortie du réservoir d'air, une soupape automatique maintenue par un ressort ou chargée d'un poids convenablement réglé ; mais les appareils de ce genre qui fonctionnent très rarement font souvent défaut le jour où l'on en aurait besoin, et, depuis longtemps, on y a renoncé pour ce motif dans le service des eaux de Paris.

Deux conduites ascensionnelles valent mieux qu'une, car il en résulte une division des risques qui est un gage de sécurité ; pour plus de

garantie, il convient même de les poser suivant des tracés différents ou tout au moins dans des tranchées distinctes et suffisamment éloignées pour qu'une fuite sur l'une ne soit pas une menace pour l'autre.

§ 5.

CHOIX DU MOTEUR

227. Considérations générales. — Le choix du moteur à employer pour une élévation d'eau dépend tout d'abord de la nature même de la force qu'il s'agit d'utiliser : ici, une chute d'eau disponible assure à jamais et presque sans dépense le fonctionnement du système, ailleurs il faut recourir à grands frais à l'emploi de la vapeur.

Le choix varie aussi nécessairement avec l'importance du travail à accomplir et avec les circonstances locales. Dans une ville importante, où les ateliers de construction sont à proximité, où le service est dirigé par un personnel technique instruit, et surtout quand il s'agit de développer une puissance considérable, on n'hésite pas à recourir aux engins les plus perfectionnés, bien qu'ils soient plus délicats et demandent des soins plus assidus. Dans une petite localité au contraire, où les réparations sont malaisées, la surveillance médiocre, le travail demandé peu important, on donne volontiers la préférence aux engins les plus simples, les plus robustes, les plus rustiques. Là on visera surtout l'excellence du rendement, la réduction des frais d'exploitation ; ici on recherchera l'économie de premier établissement, et des garanties sérieuses de résistance et de durée.

Le type d'appareil élévatoire auquel a conduit l'étude des conditions à remplir, débit, hauteur de refoulement et d'aspiration, etc., et le mode de fonctionnement probable de cet appareil, peuvent aussi motiver la préférence à donner à tel ou tel moteur.

En résumé il ne peut être présenté à ce sujet que des indications générales ; pour chaque cas il y a lieu de se livrer à un examen approfondi des circonstances particulières dans lesquelles on se trouve placé, examen qui seul peut conduire à une solution rationnelle.

228. Moteurs animés. Moteurs à vent. — Les *moteurs animés* ne sont utilisés pour l'élévation de l'eau que si l'on n'a besoin que d'un effort assez faible et intermittent : l'écope, le baquet, le seau sont manœuvrés à bras d'homme ; on se sert de pompes à bras pour les arrosages, les épuisements, l'extinction des incendies, etc. ; le manège mû par un cheval, un bœuf, un âne, est employé couramment pour la mise en mouvement des appareils destinés au service des irrigations, tels que les roues à godets, tympans, etc. Le travail des moteurs animés est

d'ailleurs fort cher : celui de l'homme ne saurait s'appliquer que dans des cas tout spéciaux, et les animaux attelés au manège ne se trouvent pas dans des conditions avantageuses, le mouvement circulaire auquel ils sont astreints les fatiguant vite.

Le *vent* peut rendre des services dans les pays plats où on l'utilise également bien de quelque côté qu'il vienne. On trouve en Hollande et dans le Nord de la France un grand nombre de moulins à vent employés à élever l'eau destinée aux irrigations ; et il y a souvent avantage a installer de petits moulins actionnant des pompes pour l'alimentation d'habitations isolées, d'établissements ruraux, etc. Le plus grave inconvénient du vent comme moteur, c'est qu'il est très intermittent, si violent parfois que les engins les plus robustes n'y résistent qu'à grand'peine, et souvent nul ou insignifiant au moment où on en aurait le plus besoin : il se prête mal d'autre part à l'utilisation en grand. Pour de petites installations, et surtout si l'on a le soin d'assurer le service pendant les chômages fréquents du moteur au moyen d'un réservoir de capacité suffisante, son emploi est commode et économique.

229. Moteurs hydrauliques. — Les chutes d'eau sont très fréquemment utilisées pour la commande des appareils élévatoires en France, en Allemagne, et en général dans les pays où le charbon est cher.

La force motrice qu'elles fournissent gratuitement a par malheur presque toujours un inconvénient grave, celui de varier dans des limites assez étendues. Le débit des cours d'eau et des sources éprouve des changements considérables d'une année ou d'une saison à l'autre, la hauteur de chute se modifie également ; et le produit de ces deux éléments, qui représente la force brute disponible, la *puissance* de la chute, est par suite essentiellement variable. Ajoutons qu'il résulte des lois hydrologiques mêmes que cette puissance descend le plus souvent à son minimum à peu près à l'époque où les besoins, surexcités par la chaleur, éprouvent précisément un accroissement sensible et tendent à atteindre au contraire leur maximum. Il faut donc que la force disponible soit de beaucoup supérieure à celle qu'exige la mise en mouvement des appareils élévatoires pour que l'on soit assuré de leur fonctionnement constant et régulier ; et, lorsqu'il n'en est pas ainsi, on se trouve forcé de parer à l'insuffisance ou aux défaillances de la chute d'eau par un recours à l'emploi de la vapeur, qui comporte une dualité d'installation dont le moindre défaut est d'augmenter grandement la dépense.

Le mode d'utilisation d'une chute d'eau doit être en rapport avec sa hauteur et son débit, en même temps qu'avec le type des appareils qu'elle doit actionner.

Les *roues* et les *turbines*, qui sont les moteurs à eau les plus employés, se prêtent également bien en général à la commande des pompes ; mais leurs allures respectives, très différentes, doivent faire préférer tantôt les unes, tantôt les autres. Les premières ont le plus souvent une

marche lente et peuvent en conséquence commander sans intermédiaire des pompes à mouvement alternatif ; les secondes, à mouvement rapide, ne conviennent guère qu'aux pompes rotatives ou centrifuges si l'on n'interpose un engrenage ou une courroie. D'autre part, tandis que les turbines peuvent s'appliquer à peu près à toutes les chutes, quels que soient le débit et la hauteur, à la seule condition d'être calculées et construites spécialement pour chacune d'elles, les *roues en dessous* ne sauraient convenir qu'aux chutes les plus faibles, les *roues de côté* et leurs variétés, roues Poncelet, Sagebien, etc., aux chutes moyennes, les *roues en dessus* aux grandes chutes, sans dépasser cependant une hauteur de 8 à 10 mètres.

Dans les cas les plus ordinaires, on a presque toujours le choix entre plusieurs moteurs ; il faut alors faire une comparaison entre eux et tenir compte de leurs propriétés respectives. On sait par exemple que les roues en-dessous ne permettent guère d'utiliser plus des 35 centièmes de la puissance de la chute, que les roues de côté peuvent aller jusqu'à 65 centièmes, les roues Sagebien et les roues en-dessus jusqu'à 80, les turbines jusqu'à 75 et plus. On sait aussi que les roues sont plus rustiques, plus faciles à construire et à réparer que les turbines, qu'elles laissent passer plus aisément les corps flottants, feuilles, morceaux de bois, etc., qu'elles se prêtent mieux aux variations de débit ; tandis que les turbines, plus délicates, s'engorgent facilement mais coûtent moins d'entretien et se plient seules aux variations de la hauteur de chute.

Nous n'entrerons pas, d'ailleurs, dans plus de détails à ce sujet et nous nous bornons à ces considérations générales, renvoyant pour la description des divers types aux ouvrages spéciaux. Nous ne dirons rien des *roues à réaction*, appliquées dans certains pays malgré leur très médiocre rendement aux chutes de grande hauteur, ou des *machines à colonne d'eau*, quelquefois utilisées pour les épuisements de mines, mais auxquelles on n'a pas eu recours pour l'alimentation d'eau des villes.

230. Moteurs à vapeur. — A défaut des forces naturelles on fait emploi de la vapeur dont l'usage est aujourd'hui général [1]. Tous les types de machines à vapeur — et il y en a un nombre considérable à l'étude desquels nous ne saurions nous arrêter sans sortir du cadre de cet ouvrage — se prêtent à la commande des appareils élévatoires : nous nous proposons seulement de donner ici quelques indications de nature à guider l'ingénieur dans la comparaison qu'il lui faudra faire avant de donner la préférence à l'un d'entre eux.

Les moteurs à vapeur peuvent être *verticaux*, *horizontaux* ou *inclinés*. La dernière disposition reçoit peu d'applications. La première se prête

1. Récemment, et par suite de circonstances tout exceptionnelles, la ville de Coblentz (Allemagne) a été amenée à employer des *moteurs à gaz* pour actionner des pompes élévatoires de grande dimension (3 moteurs de 40 chevaux chacun).

bien à la commande d'appareils élévatoires à mouvement alternatif dont l'organe mobile se déplace verticalement : on lui reconnaît généralement certains avantages au point de vue de la durée des cylindres dont l'usure est très lente et très régulière ; mais elle oblige souvent à recourir pour la commande des pompes à des tiges de grande longueur exposées à la flexion et à l'intermédiaire d'un balancier, organe d'un réglage un peu délicat, et qui, prenant ses points d'appui soit sur les murs des bâtiments soit sur des supports spéciaux à une grande hauteur au-dessus du sol, exige des apparaux de levage particuliers, motive l'extension du service d'entretien et de surveillance à deux étages différents, et transmet parfois des ébranlements fâcheux aux maçonneries en élévation. La disposition horizontale facilite manifestement le service, qui se fait entièrement de plain-pied, mais on lui reproche la tendance à l'ovalisation des cylindres sous le poids du piston, qui peut en réduire la durée.

Presque toujours le moteur à vapeur comporte un *arbre de rotation*, sur lequel est calé un *volant*, destiné à faciliter le passage des *points morts* et à compenser à chaque instant les différences entre la puissance et la résistance, en emmagasinant l'excès de force ou le restituant suivant les cas. Mais on a employé aussi pour l'élévation de l'eau des moteurs dépourvus de ces organes, soit en y attelant plusieurs pompes dont les mouvements sont convenablement alternés de manière que l'une d'elles soit toujours en pleine course quand la machine est au point mort, soit en admettant un arrêt à chaque extrémité de la course comme dans le type de Cornouailles, qui a été considéré pendant longtemps comme le meilleur de tous pour les élévations d'eau. Le piston, en descendant sous l'action de la vapeur, soulève un poids par l'intermédiaire d'un balancier horizontal supérieur ; puis un arrêt se produit, l'admission cesse, et le poids, entraînant le piston-vapeur, détermine le refoulement de l'eau, tandis que la vapeur passe par une conduite d'équilibre de la partie supérieure à la partie inférieure du cylindre jusqu'à un nouvel arrêt qui précède la réadmission de la vapeur : ces diverses phases du fonctionnement de la machine de Cornouailles à simple effet ne peuvent se succéder très rapidement, la marche de cette machine est donc nécessairement lente, ses proportions sont par suite relativement considérables, et d'autre part elle n'a plus, sur les machines à double effet actuellement en usage, l'avantage qu'elle a pu présenter à une certaine époque au point de vue de la consommation. Toujours justifié dans les mines, où elle utilise le poids énorme des tiges de piston des pompes à grande profondeur, l'emploi de cette machine ne l'est plus pour les élévations d'eau des villes.

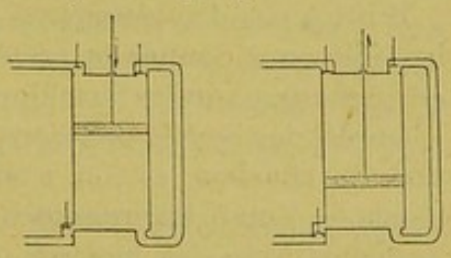


Fig. 170.

Au premier abord, il semblerait que la marche *à pleine pression* de-

vrait être la plus avantageuse pour des moteurs à vapeur actionnant des pompes, car l'effort reste alors sensiblement le même en tous les points de la course, aussi bien sur le piston moteur que sur celui de la pompe, et les deux diagrammes, représentant le travail moteur et le travail résistant, sont tous deux des rectangles. Mais la pratique a montré que l'emploi de la *détente* procure une économie notable de consommation et qu'on peut corriger les effets de la non-concordance des efforts moteurs et résistants, soit par un calcul convenable du volant, soit par une répartition de la détente entre deux ou trois cylindres moteurs en adoptant des machines *à double ou triple expansion*. Les moteurs du type Woolf à deux cylindres (*fig.* 171), où les pistons marchent parallèlement et dans le même sens, ont été appliqués avec succès aux élévations d'eau, particulièrement aux machines verticales à balancier. Dans les moteurs Compound, à deux et trois cylindres (*fig.* 172), qui se sont beaucoup répandus depuis 1873, les pistons ont encore des courses égales et parallèles, mais dont le point de départ diffère pour chacun d'eux, sauf dans le cas où l'on adopte la disposition *en tandem*, c'est-à-dire où ils sont montés sur une tige unique (*fig.* 173). Les moteurs genre Corliss, à un seul cylindre mais à longue détente et fermeture brusque d'admission, donnent des résultats aussi avantageux au point de vue de la consommation, coûtent ordinairement moins cher, et se prêtent souvent mieux à la commande des pompes ; ils demandent d'autre part plus d'entretien, et ne présentent probablement pas les mêmes garanties de durée.

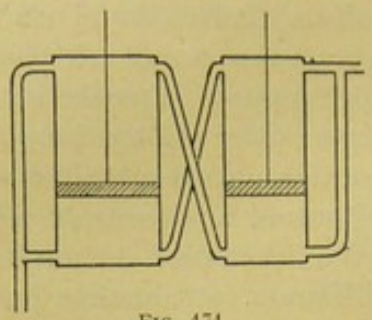


Fig. 171.

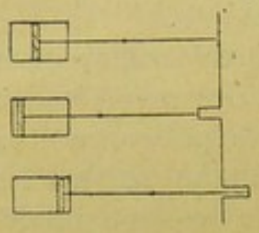


Fig. 172.

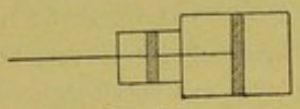


Fig. 173.

Il n'y a pas d'autre motif à priori que l'économie à réaliser sur le combustible pour donner la préférence aux machines *à haute pression* et *à condensation* sur les machines *à basse pression* et *à échappement libre*. L'emploi des hautes pressions permet toujours de réduire la consommation du charbon, et l'on n'admet plus guère de moteurs travaillant à moins de 4 ou 5 kilogrammes de pression ; on va même à 6, 7 et 8 kilogrammes avec les moteurs Compound. La condensation ne devient avantageuse qu'avec des machines d'une puissance moyenne, l'échappement libre est préférable pour les petites, quand les circonstances locales ne s'y opposent pas.

Autrefois on ne se servait pour la commande des pompes que de moteurs *à marche lente ;* les machines de Cornouailles ne donnent que 7 à 8 coups par minute. Les progrès apportés à la construction des pompes, les modifications heureuses des pistons et des clapets, les moyens appli-

qués pour diminuer les effets d'inertie, ont permis d'augmenter peu à peu la vitesse de marche des machines élévatoires, et elles font couramment aujourd'hui 20, 25, 30 tours et plus par minute. Rien n'empêche d'ailleurs d'adopter des moteurs *à grande vitesse*, lorsque la commande se fait par l'intermédiaire d'organes de transmission qui permettent de modérer néanmoins la vitesse des pompes à mouvement alternatif, ou lorsqu'il s'agit de pompes rotatives ou centrifuges. La tendance actuelle des constructeurs est tout en faveur des moteurs rapides, qui sont à la fois moins coûteux et moins encombrants.

231 Générateurs de vapeur. — L'emploi de moteurs à vapeur implique celui de générateurs destinés à les alimenter; et, bien qu'au premier abord le choix de tel ou tel type de chaudières paraisse sans doute assez indifférent au point de vue de l'élévation de l'eau, il n'en faut pas moins s'inspirer des circonstances particulières dans lesquelles on se trouve pour déterminer celui qui doit être préféré dans chaque cas.

En dehors des considérations d'emplacement, de nature d'eau alimentaire ou de combustible, qui s'imposent en premier lieu, il conviendra, par exemple, de rechercher les chaudières *à grande réserve d'eau et de vapeur* (ordinaires à bouilleurs et réchauffeurs, semi-tubulaires, etc.) pour les services d'eau à marche continue de jour et de nuit, où l'on doit compter avec les négligences des chauffeurs et les défauts de surveillance, et celles *à mise en pression rapide* (tubulaires, multitubulaires, à circulation) pour les services intermittents à besoins variables et changements subits. Les grandes masses d'eau et les fortes épaisseurs de briques sont avantageuses pour les services de jour, avec interruption complète pendant la nuit, parce qu'elles conservent longtemps la chaleur et réduisent le temps nécessaire pour la remise en marche.

La *surface de chauffe* et la *surface de grille* doivent être calculées de manière à suffire largement à la production de vapeur requise et à la consommation correspondante de combustible; mais on doit éviter les exagérations auxquelles les constructeurs sont parfois enclins, parce que le travail des machines élévatoires reste constant et ne comporte pas ces accroissements successifs, qui, dans les ateliers industriels, conduisent si souvent à demander aux chaudières une quantité de plus en plus grande de vapeur.

La simplicité des formes est une des conditions à recommander surtout, car le générateur de vapeur est souvent considéré comme un accessoire et traité comme tel, et c'est pourquoi il faut en rendre la surveillance, l'entretien, le nettoyage, les réparations aussi faciles que possible. Elle est particulièrement nécessaire quand il s'agit d'installations de peu d'importance ou de localités éloignées des ateliers de construction.

§ 6.

MACHINES ÉLÉVATOIRES

232. Multiplicité des types. — L'appareil élévatoire proprement dit, la pompe dans la majorité des cas, peut être relié de diverses manières au moteur destiné à l'actionner; et il en résulte un grand nombre de combinaisons diverses, d'où la grande multiplicité des types de machines élévatoires.

Cette multiplicité s'explique et se justifie par les différences qui se présentent dans les conditions d'établissement des usines et qui s'opposent à la généralisation d'un système quelconque; pour chaque installation, pour ainsi dire, la solution rationnelle est autre, et le choix doit résulter d'une étude sérieuse et approfondie, d'une discussion impartiale des circonstances spéciales dans lesquelles on se trouve placé.

233. Commande directe. — Dupuit recommande avec raison de s'attacher à ce que la transmission soit aussi directe que possible, et à éviter « l'intermédiaire d'engrenages qui donnent lieu à des chocs assez sensibles à cause de l'inégalité des résistances [1] ».

On appelle proprement *commande directe* l'attelage des organes mobiles du moteur et de l'appareil élévatoire sur une même tige animée d'un mouvement de rotation ou d'un mouvement rectiligne alternatif, comme on peut l'obtenir par exemple en disposant sur un arbre unique une turbine et une pompe rotative ou centrifuge (*fig.* 174), ou en faisant

Fig. 174.

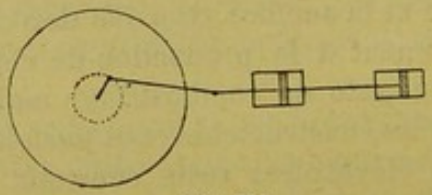


Fig. 175.

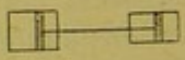


Fig. 176.

porter sur un axe commun le piston d'une machine à vapeur à double effet, avec ou sans volant, et celui de la pompe correspondante (*fig.* 175 et 176).

Ainsi définie, la commande directe suppose une connexion complète des organes mobiles essentiels du moteur et de la pompe, une identité absolue de mouvements, qui ne peuvent être admises que dans un nombre limité de cas. Souvent les organes doivent se déplacer dans des conditions très différentes de sens, de direction, de vitesse, et il faut nécessairement recourir à des pièces mobiles accessoires afin de les relier

1. *Conduite et distribution des eaux;* 2e édition, p. 302.

entre eux et de transmettre le mouvement en le transformant. Pour se conformer à la recommandation de Dupuit, on doit chercher à réduire au minimum le nombre de ces intermédiaires et les frottements qu'ils occasionnent.

234. Transmissions. — Les organes de *transmission* en usage sont de nature diverse, suivant la transformation de mouvement qu'ils ont à effectuer.

Un des plus simples est le *balancier* qui sert à passer d'un mouvement rectiligne alternatif à un autre, parallèle et de même sens ou de sens

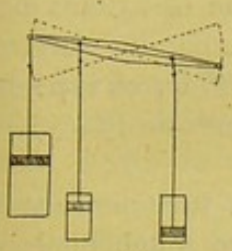


Fig. 177.

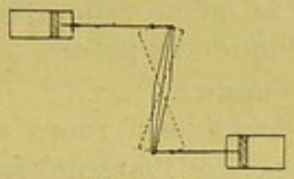


Fig. 178.

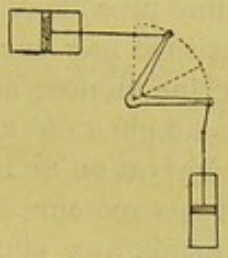


Fig. 179.

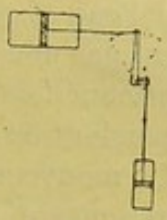


Fig. 180.

différent, avec ou sans changement d'amplitude. Il peut être vertical ou horizontal (*fig.* 178 et 177).

Le *levier coudé* permet de transmettre un mouvement rectiligne alternatif en en modifiant à la fois la direction et l'amplitude (*fig.* 179) ; le même résultat peut encore être obtenu par le moyen d'un arbre de rotation spécial pourvu de deux manivelles (*fig.* 180).

Pour passer d'un mouvement rectiligne alternatif à un mouvement de rotation continue, ou *vice versa*, on se sert d'ordinaire d'une *bielle* et d'une *manivelle ;* presque toujours l'addition d'un *volant* s'impose alors pour faire disparaître les chocs et assurer le passage du point mort à chaque extrémité de la course.

Les *engrenages* sont employés pour transformer un mouvement de rotation en un autre mouvement de rotation, de vitesse, d'amplitude et de sens différents. On peut obtenir les mêmes résultats au moyen de *courroies* ou de *câbles ;* mais ce dernier genre de transmission,

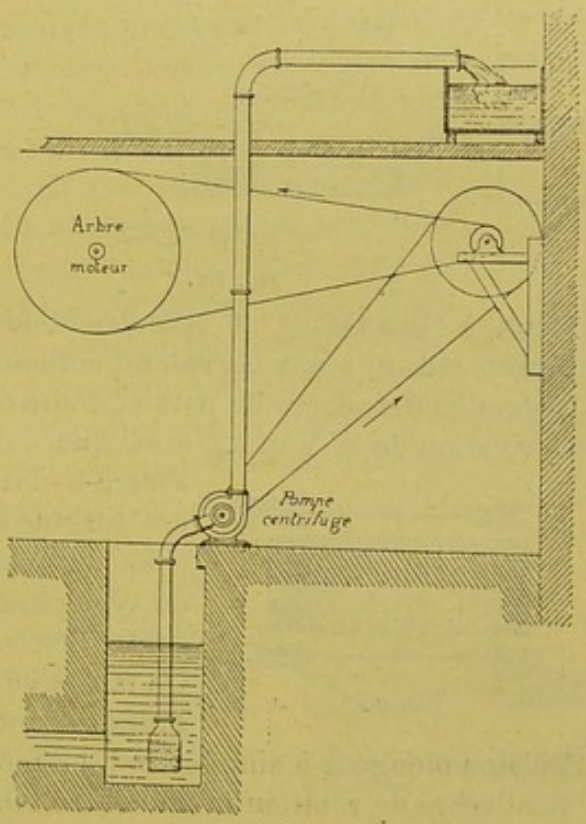


Fig. 181.

dont l'emploi si répandu dans l'industrie présente de grands avantages toutes les fois qu'il s'agit d'efforts variables ou intermittents, n'est guère appliqué aux machines élévatoires dont le travail constant et régulier s'accommode bien de transmissions métalliques, sauf cependant pour des installations provisoires (*fig.* 181), pour des épuisements, par exemple, où il rend de grands services à cause de la facilité avec laquelle il se plie aux dispositions les plus variées.

235. Types de machines élévatoires mues par l'eau. — Quelques exemples vont nous servir à préciser le mode d'emploi des organes que nous venons de passer en revue.

Nous avons donné précédemment un type de machine élévatoire mue par l'eau et constituée par une pompe centrifuge commandée directement par une turbine montée sur le même arbre (*fig.* 174); ce type exceptionnellement simple a été appliqué aux petites usines de Flacy, qui dépendent de la dérivation de la Vanne.

Le mouvement des moteurs hydrauliques, roues ou turbines, est le plus souvent transmis aux pompes par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle; c'est la disposition adoptée dans les usines de la ville de

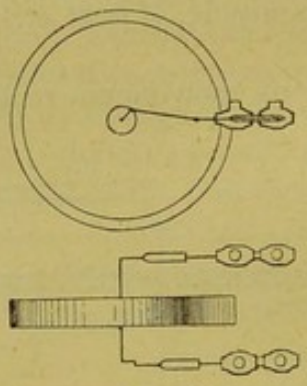


Fig. 182.

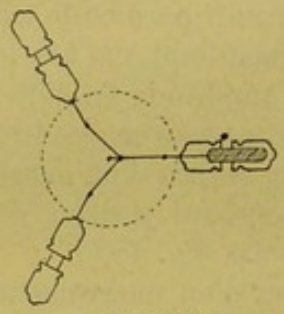


Fig. 183.

Paris, à Saint-Maur et Isles-les-Meldeuses, où le moteur est une roue-turbine Girard à axe horizontal actionnant deux jeux de pompes doubles à simple effet placés de part et d'autre (*fig.* 182), à Laforge et à Maillot (dérivation de la Vanne), ainsi que dans les usines du canal de l'Est, à Pierre-la-Treiche et à Valcourt, où le moteur est une turbine à axe vertical, commandant deux, trois ou quatre pompes doubles à simple effet du type Girard, au moyen de manivelles calées à 180°, 120° ou 90° sur l'arbre de rotation (*fig.* 183). On la trouve également à Marly où chacune des grandes roues de côté entraîne quatre pompes à piston plongeur à simple effet, au moyen de quatre manivelles calées sur l'arbre de rotation et de quatre bielles (*fig.* 184).

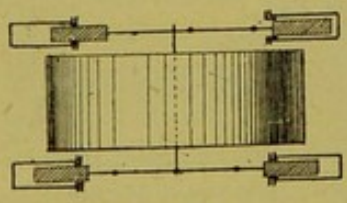


Fig. 184.

Lorsque les différences de vitesse ou les positions respectives du moteur ne permettent pas de recourir à ce mode simple de transmission, ce

qui arrive assez souvent, on a recours à des engrenages. Tel est le cas

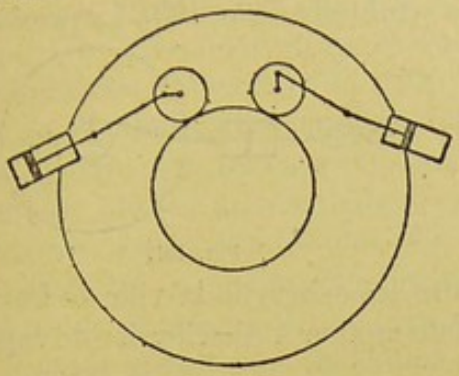


Fig. 185.

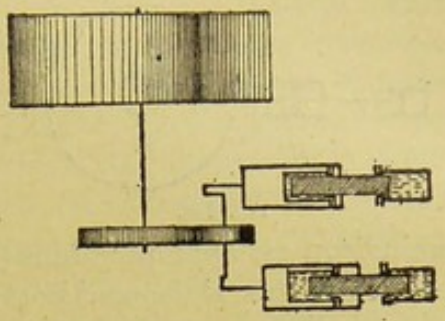


Fig. 186.

des machines installées pour le service des eaux de Paris à Trilbardon (fig. 185), à Malay et Chigy (Vanne) (*fig.* 186), et qui se composent de grandes roues Sagebien, actionnant par engrenages droits des pompes à double effet inclinées ou des pompes doubles horizontales à simple effet. On trouve aussi à l'usine de Saint-Maur des turbines à axe vertical qui commandent chacune, par des engrenages coniques, deux pompes horizontales Girard (*fig.* 187).

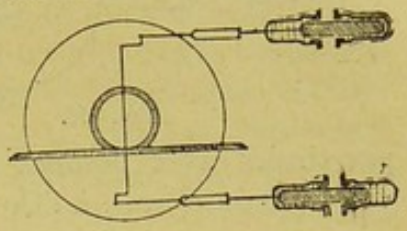


Fig. 187.

236. Types de machines élévatoires mues par la vapeur. — Le type le plus simple de machine élévatoire à vapeur comporte un cylindre moteur et une pompe dont les pistons sont attelés sur la même tige. On le rencontre à l'usine de Hampton, près de Londres (Southwark and Vauxhall Company); c'est le Bull engine où le moteur genre Cornouailles et la pompe sont tous deux à simple effet (*fig.* 188). Il est appliqué assez souvent avec moteur et pompe à double effet à de petites pompes dites pompes à vapeur à action directe, et destinées surtout à l'alimentation des chaudières. La machine élévatoire Worthington, très appréciée et extrêmement répandue aux États-Unis, et qui vient de faire son apparition en Angleterre et en France, se rattache au même type, quoiqu'elle soit formée en réalité de deux machines jumelles, chacune comportant un moteur Compound en tandem et une pompe à double effet (*fig.* 189).

Fig. 188.

Les machines élévatoires à vapeur dont il est fait actuellement en Europe le plus d'applications sont celles à commande directe, mais avec addition d'un arbre de rotation et d'un volant. Tantôt elles sont horizontales et comportent soit un seul piston moteur attelé à une pompe à double effet, à une pompe double à simple effet, ou à une pompe différentielle (*fig.* 190, 191, 192),

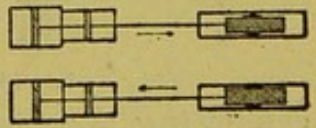


Fig. 189.

soit deux pistons moteurs de dimensions différentes, Woolf ou Compound, presque oujours attelés à deux pompes semblables (*fig.* 193). La première

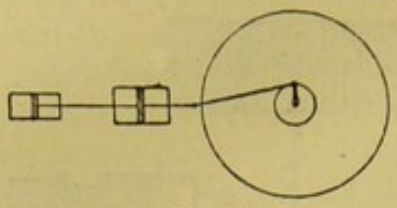


Fig. 190.

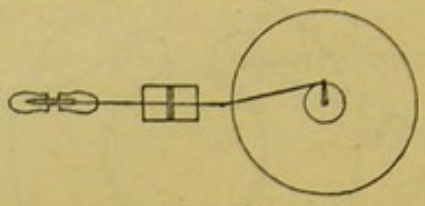


Fig. 191.

combinaison est appliquée dans plusieurs des usines de la ville de Paris à Port-à-l'Anglais, Maisons-Alfort ; c'est un moteur à distribution de vapeur

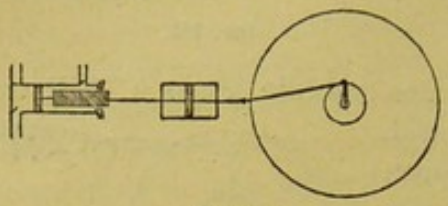


Fig. 192.

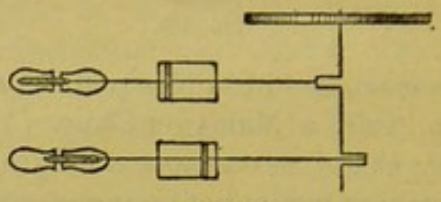


Fig. 193.

par tiroirs avec pompes à double effet et à clapets plats en tôle et cuir ; à Saint-Maur, à l'Ourcq, à Laforge et Maillot (Vanne), à Javel ce

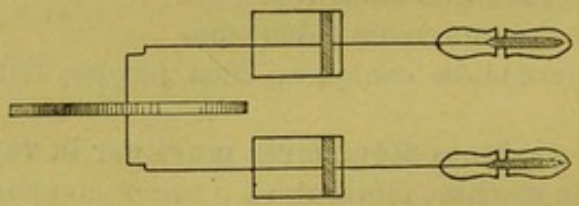


Fig. 194.

sont des moteurs genre Corliss ou Sulzer, à cylindre unique et quatre distributeurs de vapeur, tiroirs circulaires ou soupapes, longue détente

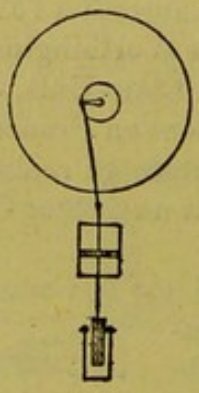


Fig. 195.

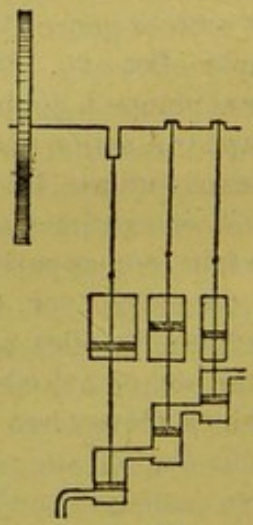


Fig. 196.

et fermeture brusque d'admission avec pompes doubles du type Girard. On la trouve à Vacon, sur le canal de l'Est (moteur Corliss et pompe Girard), à l'île de Wight (pompe différentielle) et dans un grand nombre

d'installations récentes. Quelquefois, deux machines semblables sont accouplées, c'est-à-dire qu'elles ont un arbre commun et un volant unique (*fig.* 194); un système élévatoire de ce genre fonctionnait à Paris, à l'Exposition universelle de 1878. Tantôt ces machines sont verticales, mais on y attelle des pompes différentes, presque toujours à simple effet (*fig.* 195) ; les moteurs Compound prennent alors l'avantage sur ceux à cylindre unique, parce qu'ils se prêtent bien à la commande des pompes conjuguées doubles ou triples (*fig.* 196); on en trouve plus d'un exemple en Angleterre et en France; l'usine élévatoire de Mâcon comporte une machine de ce genre à triple expansion avec trois pompes étagées.

Viennent ensuite les machines où le mouvement de la tige du piston moteur est transmis à celui du piston de la pompe par un *balancier*. L'emploi du *balancier horizontal supérieur* est assez fréquent : on le trouve dans la machine de Cornouailles, à simple effet, sans arbre de rotation ni volant (Cornish beam engine), dont il y a de beaux spécimens en Angleterre, à Londres en particulier, et qui a été appliquée à Paris (usine de Chaillot), à Lyon, etc. (*fig.* 197) ; dans la machine verticale à double effet, à cylindre moteur unique ou double, avec arbre de rotation et volant, dont il a été fait de nombreuses et belles applications aux élévations d'eau, et qui fonctionnent dans d'excellentes conditions à

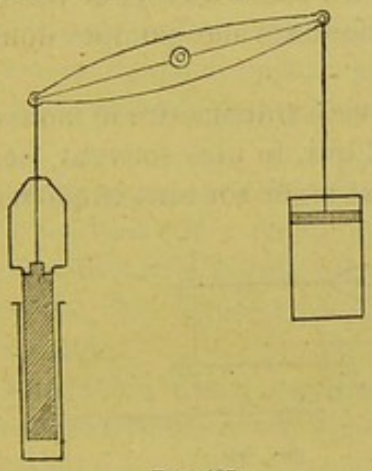


Fig. 197.

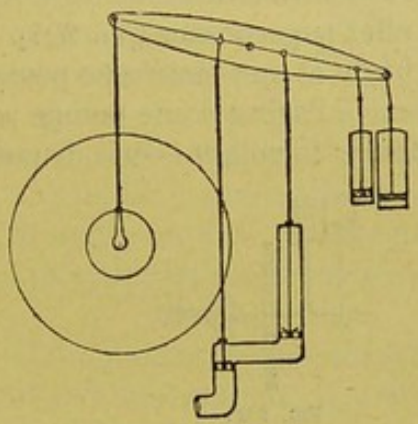


Fig. 198.

Paris, aux usines d'Austerlitz (fig. 198), de l'Ourcq, de Maisons-Alfort; en France, à Angers, à Reims, etc.; en Angleterre, à Lambeth, Chelsea, Sunderland, etc.; en Allemagne, à Altona; en Portugal, à Lisbonne, etc. L'axe du balancier peut être porté soit par un mur, soit par des colonnes ou des bâtis en forme d'A ; dans ce dernier cas seul, est rendu indépendant des murs des bâtiments, auxquels dans les autres il communique assez souvent des trépidations plus ou moins sensibles. Les tiges des pompes peuvent être suspendues en divers points du balancier, tantôt symétriquement par rapport à l'axe (pompes dis-

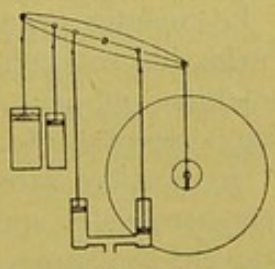


Fig 199.

tinctes à simple effet, pompes conjuguées (*fig.* 199) ou superposées, pompes différentielles), tantôt sur le bras opposé à celui où s'attelle le piston moteur, tantôt au point d'attache de la bielle actionnant l'arbre de rotation; parfois, l'une des pompes est placée directement au-dessus ou au-dessous du cylindre-vapeur.

Dans un certain nombre d'installations, on rencontre aussi le *balancier vertical*, reliant à un moteur horizontal une pompe également horizontale

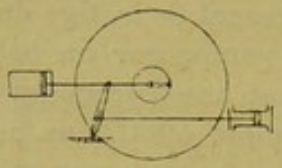


Fig. 200.

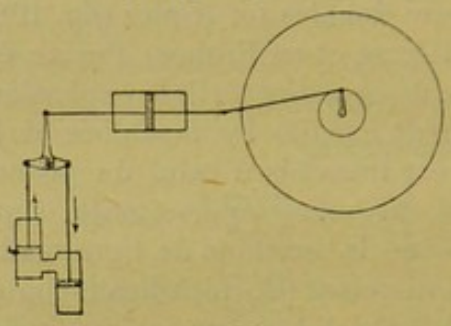


Fig. 201.

située à un niveau différent. Les machines de Port-à-l'Anglais, à Paris, sont de ce type (*fig.* 200).

Le *levier coudé* a été récemment appliqué, pour les eaux de Paris, à six grandes machines installées, en 1883, à l'usine d'Ivry, et composées de moteurs horizontaux genre Corliss actionnant des pompes doubles à simple effet superposées (*fig.* 201).

Une *bielle* et une *manivelle* peuvent servir à transmettre le mouvement du moteur à l'arbre d'une pompe rotative, qui, le plus souvent, porte en même temps le volant : cette disposition est assez souvent employée avec

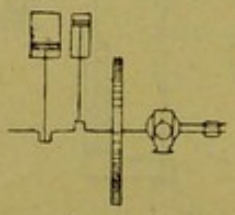


Fig. 202.

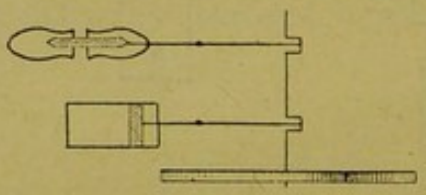


Fig. 203.

des moteurs horizontaux, à cylindre unique, comme à Clichy (usine élévatoire des eaux d'égout de Paris), plus fréquemment verticaux ou inclinés, à double ou triple expansion (usine de Ménilmontant, fig. 202).

Les mêmes organes peuvent servir à transmettre le mouvement de l'arbre de rotation à une pompe placée *en retour*, parallèlement à la machine, qui peut être d'ailleurs soit verticale, comme à Ménilmontant, soit horizontale (*fig.* 203), comme à la petite usine du passage Cottin (Paris).

On emploie rarement avec les machines à vapeur les transmissions par *engrenages*, qui sont plus compliquées, plus exposées aux ruptures, souvent bruyantes, et celles par *câbles* ou *courroies*, moins satisfaisantes au point de vue mécanique.

237. Appareils accessoires. — Les machines élévatoires doive

être munies, dans la plupart des cas, de certains appareils destinés à en faciliter la surveillance et le contrôle.

Le plus important est le *manomètre*, qui fait connaître la pression de l'eau dans la conduite de refoulement, fournit des indications sur la hauteur atteinte, les pertes de charge, le travail effectué, révèle les fuites, etc. Ce manomètre est généralement métallique : dans les grandes usines, il y en a plusieurs ; on dispose souvent, en outre, un manomètre à mercure à air libre qui sert à vérifier le réglage de temps à autre.

On complète utilement les indications du manomètre placé sur le refoulement par l'addition d'un *indicateur de niveau* donnant, à chaque instant, la position du plan d'eau à l'aspiration. Un *indicateur de fuites*, avec signal d'alarme, peut rendre, en cas d'accident, des services signalés, en provoquant l'arrêt immédiat des machines.

Le mécanicien doit s'assurer constamment de l'état du réservoir d'air de refoulement, s'il veut éviter des perturbations dans la marche des pompes ; à cet effet, on le munit d'un *niveau d'eau* à tube de verre semblable à celui des chaudières à vapeur. Presque toujours on y adapte aussi un jeu de trois robinets qui donnent d'utiles indications en cas de rupture du tube de verre (*fig.* 204).

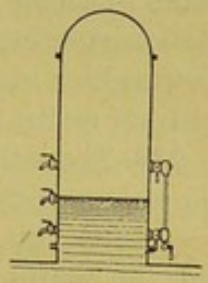


Fig. 204.

Un *compteur de tours* est indispensable pour constater le nombre de coups de piston de la pompe dans un temps donné, le travail effectué par la machine, le volume d'eau élevé, etc.

Il est fort utile aussi de disposer d'un indicateur pour le relevé des diagrammes tant sur la pompe que sur le cylindre moteur, afin de s'assurer quelquefois de la bonne marche de la machine, d'en reconnaître les irrégularités, d'en démêler les causes, et de comparer le *travail indiqué* au travail utile.

238. Rédaction des programmes. — L'ingénieur chargé des travaux de distribution d'eau n'est généralement pas mécanicien ; il doit donc s'abstenir de faire choix à priori d'un type déterminé de machine, car il risquerait de ne pas donner la préférence à celui qui convient le mieux aux circonstances spéciales dans lesquelles il se trouve, ou de ne pas tenir compte des progrès de la mécanique qu'il lui est permis d'ignorer. Le meilleur mode de procéder consiste à rédiger un programme définissant très exactement le travail à effectuer, et laissant d'ailleurs au constructeur-mécanicien, au spécialiste, le soin de rechercher, en toute liberté, quels sont les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir, sauf à lui imposer les conditions particulières commandées par des considérations d'emplacement et autres dispositions locales, à préciser la durée des travaux [1], à fixer les limites de responsabilité et les garanties de

1. Voir le programme du concours ouvert en 1884 par la Ville de Paris, pour les machines de l'usine de Maillot. (Annexes. — IV.)

consommation, à les sanctionner par des pénalités appropriées, etc.

Le nombre des constructeurs ayant quelque expérience des machines élévatoires n'est pas très considérable; ils sont connus dans chaque région, de sorte que très souvent on se contente de s'adresser à l'un d'eux en lui demandant un projet. S'il s'agit d'une affaire de quelque importance, il vaut mieux procéder par voie de *concours* public ou restreint : le concours excite l'émulation, stimule la concurrence, fait parfois surgir des idées nouvelles, et donne presque toujours un résultat avantageux au point de vue de la dépense. Mais il faut se garder de l'adjudication proprement dite, où le prix seul l'emporte sur toutes les autres considérations : car c'est souvent la machine la plus chère qui se trouve être en même temps la plus économique, si l'on tient compte des frais d'entretien et d'exploitation; et l'on s'exposerait à bien des regrets si, renonçant à la faculté de choisir, on courait le risque de tout sacrifier à une réduction irréfléchie des dépenses d'installation, sans faire entrer dans le calcul l'importance variable des bâtiments et des massifs de fondation et celle de la consommation d'eau ou de vapeur, sans se réserver d'apprécier les avantages techniques de tel ou tel type, les garanties plus ou moins sérieuses offertes par les divers soumissionnaires.

239. Travail des machines. — Le travail d'une machine élévatoire est généralement défini *en eau montée*. On entend par là le travail réellement utile, ou, en d'autres termes, le produit de la quantité d'eau élevée par la hauteur totale d'élévation. Souvent, c'est la *hauteur manométrique* que l'on considère et non la *hauteur réelle*, afin de tenir compte non seulement de l'élévation absolue de l'eau, mais aussi de l'effort employé à vaincre le frottement dans la conduite ascensionnelle, et qui constitue évidemment un travail utile quand il s'agit de refouler l'eau à distance. On obtient pratiquement la hauteur manométrique en ajoutant au chiffre fourni par la lecture du manomètre placé sur le refoulement celui qui représente la hauteur de l'appareil au-dessus du niveau d'aspiration, ce qui revient à négliger la perte de charge d'ailleurs peu importante due au passage de l'eau dans la pompe.

Le travail en eau montée est nécessairement inférieur au *travail mesuré* au frein de Prony sur l'arbre du volant, ou au *travail indiqué* par les diagrammes relevés à l'appareil de Watt, car il laisse en dehors les résistances que la force motrice rencontre dans les transmissions et dans le jeu des pompes, et qui absorbent dans les meilleures installations 20 à 30 pour 100 de la puissance des machines. La considération du travail en eau montée est incontestablement préférable à toute autre dans le cas particulier des machines élévatoires, parce que, d'une part, ce travail est bien celui qui est réellement utile, et, d'autre part, il se mesure très aisément : il suffit en effet de jauger l'eau au réservoir, dont on connaît d'ailleurs l'altitude par rapport à celle de l'aspiration, et de faire une lecture au manomètre, tandis que les expériences au frein de Prony

et les relevés de diagrammes sont des opérations délicates, qui exigent une certaine habileté de main et des connaissances théoriques plus étendues. Il n'est pas toujours facile de jauger l'eau dans le réservoir, mais on arrive au résultat en déterminant une fois pour toutes le rendement de la pompe en volume, sauf à vérifier de temps à autre s'il se maintient sans modification, et en relevant le nombre des coups de piston de la machine, ce qui revient à utiliser l'appareil élévatoire lui-même comme un véritable compteur d'eau.

Pour les machines à vapeur la consommation garantie est le plus souvent évaluée en charbon d'une nature déterminée, et on la vérifie par des pesées. Mais lorsqu'on s'adresse à deux fournisseurs différents pour la livraison des machines et celle des chaudières, c'est en consommation de vapeur que la garantie est exprimée ; et les constatations, plus délicates, comportent le mesurage de l'eau d'alimentation, au moyen de compteurs ou de bâches tarées et en tenant compte des pertes par les purges, des retours d'eau aux générateurs, etc. Pour les grandes machines de 150 chevaux en eau montée et au-dessus, les meilleurs constructeurs peuvent actuellement obtenir une consommation réduite à 1100 gr. de charbon tout venant de bonne qualité, ou de 9 kilog. de vapeur par heure et par force de cheval de 75 kilogrammètres mesurée en eau montée ; pour les moyennes 1300 à 1400 grammes de charbon ; pour les petites, au-dessous de 30 chevaux, 1600 à 2000.

Pour les machines hydrauliques, on compare le travail utile en eau montée à la puissance brute de la chute utilisée, le rapport ainsi obtenu est le *rendement* du système. Ce rendement n'atteint que très difficilement et dans les machines les plus perfectionnées 65 pour 100. Il est prudent de ne pas compter, en général, sur plus de 55 à 60 pour 100.

Très souvent, pour la réception des machines, on se contente d'un *essai* de quelques heures ou de quelques jours : cette pratique a l'inconvénient de donner un résultat incomplet, car avec un personnel d'élite et spécialement dressé, on obtient aisément des rendements exceptionnels, tandis que l'on masque sans peine des défauts que l'exploitation viendra révéler plus tard. Il est bien préférable, quand on le peut, de stipuler une longue garantie applicable à un délai d'un an par exemple.

§ 7.

INSTALLATION, ENTRETIEN, EXPLOITATION

DES MACHINES ÉLÉVATOIRES

240. Emplacement des usines. — Les machines élévatoires doivent être nécessairement placées près du point où se trouve l'eau qu'il s'agit

d'élever et à une assez faible hauteur au-dessus du niveau de cette eau, afin de ne pas dépasser les limites pratiquement admissibles pour la longueur de la conduite et la hauteur d'aspiration.

Cette obligation ne va pas sans causer quelquefois des difficultés sérieuses. On peut être contraint par exemple d'établir une usine sur des terrains bas et submersibles, ou sur un sol vaseux sans consistance, ce qui entraîne dans le premier cas la nécessité de l'élever sur des substructions importantes pour la mettre à l'abri des crues, et dans le second d'aller chercher à grande profondeur un terrain de fondation suffisamment résistant.

Lorsqu'il s'agit d'élever de l'eau déjà reçue dans un réservoir, on est conduit le plus souvent à se placer dans le voisinage du réservoir, ce qui peut avoir pour conséquence certaines sujétions, telles que des acquisitions de terrain dispendieuses, des expropriations, des précautions à prendre pour éviter le bruit ou la fumée. Du moins on peut dans ce cas spécial se placer soit plus haut que le réservoir de sorte que les pompes aient à faire aspiration, soit plus bas de façon qu'elles reçoivent l'eau déjà en pression.

241. Bâtiments. — La forme et les dimensions des bâtiments d'une usine élévatoire dépendent essentiellement des machines que l'on doit y placer, et qui ont dû être choisies au reste de manière à satisfaire à un certain nombre de conditions, parmi lesquelles se range forcément la possibilité de les disposer dans le terrain affecté à l'usine.

Un établissement de ce genre, d'utilité publique au premier chef, ne comporte qu'une exécution sobre et rationnelle ; les motifs d'architecture ou d'ornementation n'y sont pas à leur place. Cependant, au voisinage ou dans l'intérieur des villes, il y a lieu quelquefois de tenir compte de certaines considérations d'aspect ou de perspective : sans faire d'une usine élévatoire un monument plus ou moins prétentieux, comme c'était de mode autrefois, il convient de rechercher alors des dispositions, qui, tout en répondant aux conditions techniques à remplir, ne choquent point l'œil des délicats.

Ce qui est indispensable, ce qu'il faut rechercher avant tout, c'est la facilité du service, la commodité de la surveillance ; et, à cet effet, on devra éviter de mesurer avec trop de parcimonie l'espace et la lumière, s'efforcer d'assurer l'aération des salles, chercher à y maintenir une température convenable, etc. Toutes les dépenses faites dans cet ordre d'idées au moment de la construction de l'usine sont bien vite couvertes par les économies d'exploitation qu'elles permettent de réaliser, ou le complément de sécurité qui en résulte. Il faut aussi ne pas oublier les nécessités de l'entretien, rendre l'accès aussi aisé que possible auprès de toutes les parties des machines, afin que les graissages, les nettoyages, les menues réparations sur place se fassent vite et bien ; prévoir les démontages partiels et ménager les emplacements ou les passages

nécessaires, imposer enfin par des dispositions spéciales les soins de propreté si utiles pour la conservation et le bon fonctionnement des engins mécaniques.

On doit recommander notamment de donner aux salles des chaudières des dimensions suffisantes pour la manœuvre des ringards, la sortie des grilles ou des tubes, l'approvisionnement du charbon, aux sous-sols, si l'installation en comporte, une hauteur telle qu'on puisse y circuler partout sans se baisser ; de séparer complètement les salles des machines des chambres de chauffe, pour en écarter les poussières de charbon; de donner la préférence aux dallages sur les planchers parce qu'ils se lavent aisément, etc.

242. Constructions accessoires. — Toute usine élévatoire comporte en dehors des salles des machines et des générateurs, certaines constructions de moindre importance qui en constituent l'accessoire obligé.

C'est d'abord un *magasin* pour les huiles de graissage, les chiffons et autres fournitures courantes ;

Puis un petit *atelier* pour les menues réparations, que le mécanicien chargé de la conduite des appareils doit pouvoir effectuer lui-même à peu de frais et sans perte de temps : les machines-outils, simples et en petit nombre, dont l'atelier est muni, meule à repasser, tour, machine à percer, sont mues d'ordinaire à bras; mais elles peuvent aussi recevoir leur mouvement du moteur par une transmission spéciale, courroie, câble télédynamique, eau en pression, courant électrique.

Parfois et surtout dans les pays où le climat est très humide, on dispose un *hangar* à *charbon* pour mettre le combustible à l'abri de la pluie, à défaut on réserve un *parc* à *charbon*, pourvu de bascules pour la pesée, et avec ou sans dispositions mécaniques pour le débarquement et le transport du combustible. Dans quelques installations récentes, comme à Ivry, un local particulier a dû être affecté à l'établissement des machines dynamo chargées d'assurer l'éclairage par l'électricité. Enfin un *bâtiment d'habitation* est indispensable pour assurer en tout temps de jour et de nuit le gardiennage et la surveillance continue des machines.

243. Entretien des machines. — Du bon entretien des machines dépend la régularité de leur fonctionnement et surtout leur durée : on ne saurait donc y apporter trop d'attention.

Tout d'abord la construction même doit être étudiée dans tous ses détails au point de vue de la facilité de l'entretien : les divers organes doivent être disposés de manière à rendre sûre et commode la lubrification de toutes les surfaces frottantes, à éviter les chocs et les vibrations qui deviennent si aisément des causes de détérioration rapide, à permettre de corriger les effets de l'usure et de supprimer le jeu que prennent les pièces mobiles au moyen d'un serrage graduel ; nulle part il ne doit pouvoir se produire d'effort exagéré dépassant les limites de résis-

tance pratique. La considération si importante des facilités d'entretien intervient parfois pour limiter les dimensions des machines, car, lorsque les pièces sont très lourdes et encombrantes, les visites et les démontages deviennent des opérations extrêmement malaisées, longues et onéreuses : et, bien qu'il y ait économie de premier établissement à recourir à de très puissantes machines, ce motif a contribué à faire adopter dans certains grands services, à Paris notamment, la limitation de la force de chaque machine élévatoire à 150 ou 200 chevaux utiles au maximum pour une hauteur d'élévation de 50 à 70 mètres.

Pour réduire autant que possible la dépense d'entretien et les interruptions de service dues aux réparations, il convient de procéder d'urgence aux menus travaux d'entretien dès que l'utilité s'en manifeste, de maintenir toujours l'ensemble en bon état, de soigner les garnitures, d'arrêter immédiatement les pertes d'eau, les fuites de vapeur, les rentrées d'air, d'avoir certaines pièces en double, etc. Lorsque les machines sont en chômage, il est indispensable de ne pas les abandonner à elles-mêmes et de les faire tourner de temps à autre, afin d'éviter la rouille et de ne pas s'exposer à les retrouver incapables de fonctionner le jour où l'on en aurait besoin.

Une propreté minutieuse est de règle dans les usines comme sur les navires, et il ne faut pas la considérer comme un vain luxe, mais comme une garantie essentielle d'un bon entretien ; elle empêche les grippements, les échauffements des parties frottantes ; elle oblige surtout le personnel à voir souvent et de près tous les organes, à en surveiller le fonctionnement, à suivre les progrès de l'usure, de telle sorte qu'il ne peut manquer de constater les désordres qui se produisent et se trouve en mesure de prévoir et d'empêcher, par un arrêt ou une réparation faite à propos, les ruptures et les accidents.

244. Exploitation. — Les nécessités de l'entretien obligeant à mettre de temps en temps en chômage les pompes et les moteurs et surtout les générateurs de vapeur, pour les visites, les nettoyages, les réfections de joints et de garnitures, les réparations, etc., sans compter les accidents qu'il faut toujours prévoir, une exploitation continue ne peut être assurée que si l'on dispose de chaudières de rechange et même de deux systèmes élévatoires distincts, dont l'un puisse fonctionner pendant que l'autre est en repos. Dans les très grandes usines, où il y a un nombre de machines supérieur à deux, on peut se contenter d'une proportion plus faible d'engins de rechange : 1 sur 3 ou 4 suffira dans la plupart des cas. Il est d'ailleurs utile souvent d'avoir plusieurs machines pour être en état de répondre aux variations incessantes des besoins, car il est d'ordinaire peu avantageux de faire varier le produit des machines en changeant les conditions de marche pour lesquelles elles ont été calculées et construites, et, dans les grands services d'eau, il est préférable de multiplier les machines plutôt que d'en restreindre par trop le

nombre et d'en augmenter la puissance au delà d'une certaine limite.

Malgré les précautions prises pour assurer les rechanges, la permanence du service, qui est la condition obligée de la plupart des élévations d'eau, suppose des soins assidus et intelligents, et l'on ne saurait, en conséquence, apporter trop de sollicitude au choix du personnel. Le conducteur-mécanicien, auquel on confie la direction d'une usine élévatoire, doit avoir l'attention toujours en éveil, et il se présente assez souvent des circonstances où il lui faut déployer une présence d'esprit et une habileté de main qu'on trouve seulement chez les meilleurs ouvriers. Un personnel consciencieux peut seul réaliser, d'autre part, une exploitation réellement économique.

Quel qu'il soit, au reste, si l'on veut éviter le coulage qui tend à se produire dès que la surveillance se néglige, il est nécessaire de faire tenir exactement une comptabilité matières où l'on consigne jour par jour la fourniture et la consommation de charbon, d'huile, de graisse, de chiffons, d'outils, etc.

Un excellent moyen de contrôle, qui constitue en même temps la plus efficace des garanties contre les dépenses exagérées, consiste à faire tenir des bulletins quotidiens portant les heures de mise en marche et d'arrêt, le nombre de tours, la quantité d'eau montée, la consommation de charbon s'il y a lieu, les niveaux d'eau, les indications des manomètres, ainsi que les incidents survenus, les réparations, etc.

245. Dépenses d'installation et d'exploitation. — Le prix d'installation des machines élévatoires varie nécessairement avec les types choisis, leur allure, leur force relative, etc., mais il est à peu près le même dans les diverses localités, car les frais de transport n'entrent que pour une part assez faible dans la valeur des machines. Il a d'ailleurs notablement diminué depuis un certain nombre d'années ; et, tandis que Dupuit indiquait, il y a 25 ans, le prix de 2.500 francs par cheval utile en eau montée pour la fourniture d'une machine élévatoire à vapeur (pompe, moteur, générateur), on peut admettre aujourd'hui que ce chiffre doit être ramené à 1.000 ou 1.500 francs au plus pour les installations de moyenne importance avec pompes à pistons et vitesses modérées, et bien au-dessous — 700 ou 800 francs — pour les grandes installations et les allures rapides. Le prix des bâtiments varie, au contraire, beaucoup d'une localité à l'autre, et dépend essentiellement des circonstances locales, de sorte qu'on ne peut donner à cet égard aucune indication générale.

En même temps que le prix des machines à vapeur s'est abaissé, il s'est produit aussi pour les machines une diminution sensible des frais d'exploitation. En effet, les progrès de la mécanique ont permis d'obtenir de très notables réductions sur le gros élément de la dépense, le combustible : au lieu de 2 kilogrammes qu'il fallait admettre avec Dupuit vers 1860, on descend aisément aujourd'hui à $1^{kg},500$ et moins pour des

machines de 40 à 100 chevaux de force, et les grandes machines de la Ville de Paris à Saint-Maur et Ivry ne consomment normalement pas plus de $1^{kg},100$ par cheval en eau montée (puissance 150 à 200 chevaux, hauteur d'élévation 55 à 75 mètres). C'est ici le lieu de faire observer que la consommation par cheval utile varie un peu avec la hauteur de refoulement et tend à diminuer quand cette hauteur augmente ; on conçoit qu'il en doit être ainsi, puisque le travail perdu pour vaincre les résistances passives est constant ou à peu près pour une machine donnée et que l'augmentation de la hauteur de refoulement affecte seulement le travail utile.

Le prix des machines hydrauliques est à peu près le même que celui des machines à vapeur ; mais si l'on tient compte des travaux accessoires, canaux d'amenée et de fuite, barrages, etc., on peut dire qu'il est presque toujours plus élevé. L'abaissement du taux de la consommation de charbon pour les moteurs à vapeur, joint à divers avantages tels que la facilité d'installation en un point quelconque, tend à leur faire donner très souvent la préférence sur les moteurs à eau ; il convient néanmoins dans chaque cas de se livrer à une comparaison sérieuse et approfondie, en tenant compte des frais de premier établissement et du capital correspondant aux frais annuels d'exploitation.

246. Prix de revient de l'eau élevée. — Dans toute exploitation rationnelle il doit être tenu un compte exact des dépenses d'où on peut déduire le *prix de revient* de l'eau élevée. Ce prix de revient est évalué tantôt au mètre cube d'eau montée dans les réservoirs, tantôt par 1000 mètres cubes d'eau montée à 1 mètre de hauteur ; le second mode d'évaluation permet seul de faire des comparaisons d'une exploitation à une autre quand les hauteurs d'élévation sont très différentes.

Si l'on ne tient pas compte de l'intérêt du capital consacré à l'installation, et de l'amortissement qui, pour des machines, doit toujours être assez rapide, on trouve que le prix de revient de l'eau élevée par machine à vapeur en France, pour une marche à peu près continue et une hauteur ordinaire d'élévation (40 à 60 mètres), atteint d'habitude 0 fr. 02 à 0 fr. 05 par mètre cube et 0 fr. 30 à 1 franc par 1.000 mètres cubes élevés à 1 mètre. Ce prix varie nécessairement avec le prix du charbon, le taux des salaires, etc., mais il dépend beaucoup de la puissance de la machine, parce que les frais de personnel prennent pour les petites installations une importance très considérable, et de son régime de marche, car il devient très élevé pour les usines qui sont fréquemment en chômage et sont destinées surtout à servir de renfort ou de rechange dans une distribution alimentée par une dérivation ou des machines hydrauliques.

L'eau élevée par moteurs à eau coûte très peu si l'on ne tient compte que des frais annuels : 0 fr. 004 à 0 fr. 005, par exemple, pour l'élévation d'un mètre cube au réservoir, et 0 fr. 10 environ pour 1.000 mètres cubes

montés à 1 mètre. Mais, quand on ajoute l'intérêt du capital et l'amortissement, le prix de revient atteint souvent la moitié et même les deux tiers du prix de l'eau élevée par machine à vapeur.

Le prix de revient des eaux amenées par dérivation est extrêmement variable, et on ne peut rien dire de général à ce sujet, si ce n'est qu'il est presque toujours plus élevé que celui de l'eau montée par des moyens mécaniques. Lors donc que ce sont les considérations d'économie qui priment toutes les autres, comme il arrive quand les travaux à exécuter pour une élévation d'eau incombent à un particulier ou à une compagnie qui a une concession d'une durée limitée, c'est bien souvent un motif de préférence qui influe sur le choix de la solution et fait pencher la balance en faveur de l'élévation par machines.

CHAPITRE XI

RÉSERVOIRS

Sommaire :

§ 1er. *Considérations générales.* — 247. Rôle des réservoirs. — 248. Niveau. — 249. Emplacement. — 250. Capacité. — 251. Forme générale. — 252. Épaisseur de la tranche d'eau. — 253. Dispositions diverses.
§ 2. *Réservoirs en déblai.* — 254. Conditions d'établissement. — 255. Réservoirs en tranchée. — 256. Réservoirs en souterrain.
§ 3. *Réservoirs en élévation.* — 257. Réservoirs partiellement en déblai. — 258. Réservoirs entièrement en élévation. — 259. Tours d'eau.
§ 4. *Mode de construction des réservoirs.* — 260. Radier. — 261. Murs d'enceinte. — 262. Moyens employés pour obtenir l'étanchéité. — 263. Cuves en tôle. — 264. Cuves en fonte.
§ 5. *Couverture des réservoirs.* — 265. Divers modes de couverture. — 266. Voûtes en berceau. — 267. Voûtes d'arêtes. — 268. Échappement de l'air. Écoulement des eaux pluviales.
§ 6. *Appareils accessoires.* — 269. Fonctionnement des réservoirs. — 270. Arrivée de l'eau. — 271. Répartition de l'eau entre plusieurs compartiments. — 272. Départ de l'eau. — 273. Trop-plein. — 274. Vidange. — 275. Indicateurs de niveau.

§ 1er.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

247. Rôle des réservoirs.—L'eau amenée par une dérivation ou élevée par des machines pour l'alimentation d'une ville est presque toujours reçue dans un ou plusieurs *réservoirs*, qui dominent le réseau de la distribution.

Ces ouvrages ne sont pas destinés, comme les vastes réserves dont nous avons parlé dans un précédent chapitre, à contenir un approvisionnement d'eau capable de parer aux besoins du service pendant une période de plusieurs semaines ou de plusieurs mois. Ils ne doivent pas être confondus non plus avec les bassins de compensation, qui emmagasinent l'eau dans la saison humide, pour la restituer à l'époque des sécheresses, et encore moins avec les bassins de dépôt, où l'eau séjourne afin de se clarifier par l'effet du repos. Leur véritable rôle est celui de *régulateurs*

de la distribution : ils ont pour objet essentiel de maintenir dans les conduites la pression jugée utile pour assurer convenablement le service, et de compenser les variations diurnes de la consommation, en recevant à certaines heures la fraction du volume fourni par l'alimentation, qui n'est pas absorbée par la distribution en ville, et la restituant ensuite quand ce volume devient au contraire momentanément insuffisant.

Pour remplir utilement ce double office, les réservoirs doivent être en état de contenir une quantité d'eau notable, ce qui leur permet de rendre accessoirement de précieux services quand l'arrivée de l'eau est interrompue par un accident quelconque. A ce dernier point de vue, ils sont particulièrement indispensables, et ils doivent recevoir, par suite, une capacité plus grande, dans les villes qui sont alimentées par une dérivation unique; les ruptures, auxquelles une dérivation est toujours exposée, ont alors pour conséquence un arrêt complet de l'alimentation, et, pendant le temps de la réparation à effectuer en quelque endroit parfois assez éloigné et dans des conditions plus ou moins difficiles, on ne dispose que de l'approvisionnement d'eau contenu dans les réservoirs pour répondre à tous les besoins de la distribution. Ils reçoivent sans inconvénient des dimensions moindres dans les villes alimentées par une usine élévatoire pourvue de rechanges, ou dont la distribution est desservie à la fois par plusieurs systèmes d'alimentation distincts, parce que les accidents, qui peuvent s'y produire, n'y ont pas pour conséquence une interruption complète de l'arrivée de l'eau.

248. Niveau. — Le niveau de l'eau dans le réservoir détermine la pression en tous les points du réseau de conduites correspondant : il doit être tel que, malgré les pertes dues au frottement contre les parois des tuyaux, l'eau conserve jusqu'aux orifices de puisage une *charge* suffisante pour répondre aux besoins du service, ou en d'autres termes que le *niveau piézométrique* passe assez haut au-dessus du sol. Pour un service de rez-de-chaussée on peut se contenter à la rigueur d'une charge de 4 à 5 mètres seulement; mais il faut 8 à 10 mètres pour assurer le service du premier étage, 24 à 25 mètres pour les maisons de grande hauteur, plus encore si l'on veut se servir de l'eau par jet direct pour l'extinction des incendies, l'utiliser comme force motrice, etc.

Il est évident que plus le réservoir est proche des points à desservir, et plus les conduites de distribution sont grosses pour un débit donné, moins il y a de perte de charge par l'effet de l'écoulement. On conçoit donc qu'il y ait quelquefois à mettre en balance les avantages ou les inconvénients respectifs de deux solutions, dont l'une comporterait un réservoir plus élevé avec des conduites de moindre diamètre, et l'autre des conduites plus fortes avec un réservoir placé un peu moins haut. De même on est assez souvent conduit à établir deux ou plusieurs réservoirs en divers points d'un même réseau de distribution, afin de diminuer les distances que l'eau devra franchir, et d'obtenir une régularisation plus

complète des pressions : cette disposition est à recommander particulièrement dans le cas où la charge totale n'est pas considérable, et où l'on se trouve dans l'obligation de la ménager le plus possible en diminuant les pertes par frottement dans les tuyaux.

249. Emplacement. — La position ordinaire et normale d'un réservoir est *en tête* du réseau qu'il dessert, au point où aboutit la conduite d'alimentation, et d'où partent les conduites maîtresses formant le tronc commun de la canalisation générale de distribution. Lorsqu'il est ainsi placé, un réservoir se prête également bien au jaugeage de l'eau fournie et à celui de l'eau dépensée, l'écoulement de l'eau se fait toujours dans le même sens, les manœuvres sont simples et se comprennent aisément.

Quand on veut avoir un second réservoir sur le même réseau de conduites en vue d'y améliorer les pressions, il convient de l'établir à l'ex-

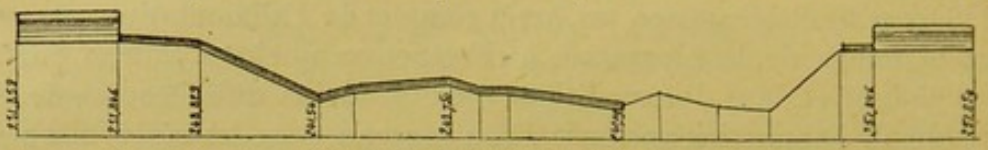


FIG. 205. — Réservoirs de Dijon.

trémité opposée, *en bout* de la canalisation : l'eau sortant du premier réservoir va s'y emmagasiner alors en partie, après avoir traversé tout le réseau, aux heures où la consommation est faible, et, quand le service est plus actif, elle en sort suivant une direction inverse, de telle sorte que, dans la partie médiane de la distribution, l'eau afflue par les deux

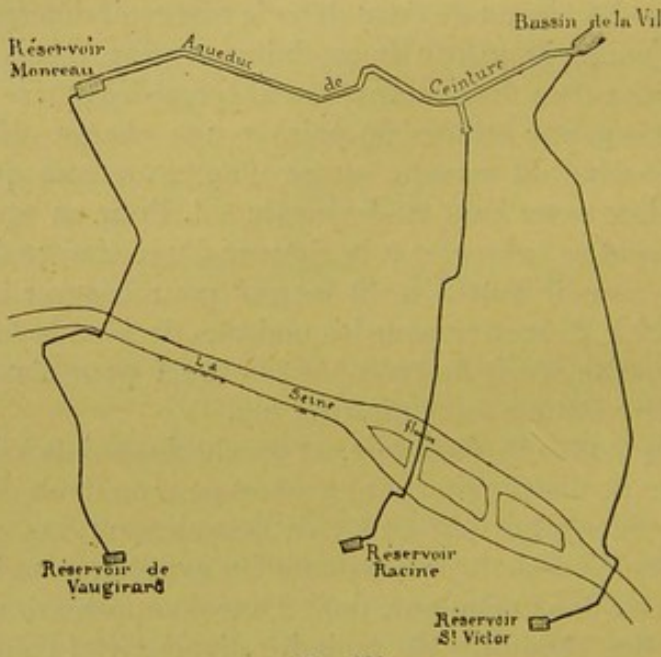


FIG. 206.

côtés à la fois. Les circonstances topographiques se prêtent assez souvent à une combinaison de ce genre, notamment dans les villes assises au bord d'un cours d'eau, au fond d'une vallée, et dominées de part et d'autre par des coteaux plus ou moins élevés; elle a été appliquée par

Darcy à Dijon, où l'aqueduc du Rosoir vient se terminer dans le réservoir de la Porte-Guillaume, qu'une conduite de distribution traversant toute la ville relie à celui de Montmusard (*fig.* 205). On en trouve à Paris une application intéressante sur une plus grande échelle : l'eau du canal de l'Ourcq, qui est reçue d'abord au bassin de La Villette, est répartie le long des coteaux de la rive droite de la Seine par l'aqueduc de ceinture, qui la conduit jusqu'au réservoir Monceau ; et des conduites de distribution, se détachant de l'aqueduc de ceinture et traversant tout le réseau des conduites secondaires, vont aboutir de l'autre côté de la Seine, à trois réservoirs d'extrémité, Saint-Victor, Racine et Vaugirard, placés à un niveau un peu inférieur, qui s'approvisionnent la nuit et soutiennent efficacement le service durant le jour (*fig.* 206).

Il arrive souvent que, dans un but d'économie ou par quelque autre motif, on supprime le réservoir de tête pour conserver celui d'extrémité : la conduite d'amenée de l'eau sert alors elle-même à la distribution avant d'arriver au réservoir ; elle fait suivant le terme consacré le *service en route*. Cette disposition a une partie des avantages que présente l'emploi de deux réservoirs placés en tête et en bout du réseau, mais elle ne procure pas autant de sécurité, ne se prête pas aux jaugeages et empêche de suivre aussi bien les variations qui se produisent dans le service : elle est d'ailleurs à recommander plutôt dans le cas d'une dérivation que dans celui d'une alimentation par machines, parce que, la marche des pompes n'étant pas continue, il arrive fréquemment que l'eau n'afflue pas des deux côtés dans la distribution, ce qui est plus rare avec un aqueduc où l'écoulement doit être constant.

250. Capacité. — Pour remplir le rôle de régulateurs de la distribution, il suffit que les réservoirs soient à même de recevoir à chaque instant du jour la fraction de la quantité d'eau amenée ou élevée que n'absorbe point le service ; il n'est donc nécessaire de leur donner qu'une capacité notablement inférieure au volume d'eau représentant la consommation d'une journée.

Dans le cas d'une dérivation, cette capacité doit atteindre au moins la moitié du volume amené par 24 heures, parce que, l'arrivée de l'eau étant constante, il faut pouvoir l'emmagasiner durant la nuit tout entière. Elle peut être extrêmement réduite, presque nulle même, avec un service d'eau alimenté au moyen de machines, si l'on s'astreint à faire varier le volume d'eau élevé par les pompes suivant les besoins de la distribution ; c'est ainsi que dans les pays plats, comme la Hollande, on sait se contenter de simples bâches de très faible volume placées au sommet de véritables tours ; mais, on le conçoit, l'attention soutenue et les soins incessants, qu'exige, dans de pareilles conditions, la conduite du service, constituent la plus onéreuse des sujétions, et, toutes les fois que la disposition des lieux s'y prête, il est bien préférable d'avoir des bassins de capacité suffisante pour admettre, pendant le jour tout au moins, la

marche continue des machines d'alimentation à une allure constamment la même.

Dans la plupart des cas, on dépasse la proportion strictement indispensable pour assurer la régularisation du service, afin de se créer une réserve destinée à parer aux accidents qu'il faut toujours prévoir et qui peuvent entraver momentanément l'arrivée de l'eau. Mais ce surcroît de sécurité coûte généralement cher, et la considération de la dépense oblige d'ordinaire à se tenir dans des limites fort restreintes. Au reste il convient d'observer qu'une longue stagnation de l'eau n'est pas chose désirable, et qu'il ne faut pas s'y exposer en donnant aux réservoirs de trop grandes dimensions. La règle la plus habituellement suivie consiste à prendre pour la capacité des réservoirs un cube égal ou un peu supérieur au volume d'eau maximum à distribuer dans une journée.

Cette règle est excellente toutes les fois qu'il s'agit d'une alimentation par machines ou mixte, où l'on dispose de rechanges et où les interruptions ne peuvent être que partielles ou de courte durée. Il est à propos d'aller un peu au delà quand le service dépend d'une dérivation unique de grande longueur : c'est ainsi qu'on a donné aux bassins supérieurs de Ménilmontant à Paris, où aboutit l'aqueduc de la Dhuis, une capacité suffisante pour contenir deux fois et demi le volume que fournirait par jour l'aqueduc coulant à plein débit, tandis que l'ensemble des réservoirs dont dispose le service des eaux à Paris ne constitue qu'un approvisionnement un peu supérieur à la consommation d'une journée.

251. Forme générale. — L'enceinte des réservoirs est dans la généralité des cas la partie la plus coûteuse de ces ouvrages ; pour limiter la dépense de construction, on doit s'attacher en conséquence à en réduire le développement, et rechercher le moyen d'obtenir la plus grande capacité possible ou, ce qui revient au même, la plus grande superficie avec le moindre périmètre.

A ce point de vue, le cercle est la figure qui présente le plus d'avantages. Aussi y a-t-on souvent recours ; le réservoir de la Porte-Guillaume à Dijon, est construit sur plan circulaire avec un diamètre de 24 mètres, celui des Buttes-Chaumont, à Paris, présente une section horizontale formée par un demi-cercle. En Angleterre surtout on rencontre très souvent la forme circulaire : on peut citer les réservoirs de Greenwich, de Canterbury, d'Aberdeen, etc.

Mais cette forme entraîne assez souvent des sujétions qui en compensent et au delà les avantages ; si elle convient parfaitement pour les réservoirs dont l'enceinte est formée par une digue en terre ou pour les cuves métalliques, on y renonce fréquemment quand on emploie la maçonnerie pour se rapprocher de préférence de la forme carrée ou rectangulaire. Parmi les surfaces à quatre côtés et à angles droits, c'est le carré qui présente le moindre périmètre pour une aire donnée ; il doit donc être choisi en premier lieu à défaut du cercle. Quand le réservoir

est divisé en deux compartiments on est conduit à écarter le carré à son tour, pour adopter le rectangle.

Au reste la question ne se présente sous un aspect aussi simple que si le terrain dont on dispose se prête à toutes les combinaisons, et si l'enceinte est de beaucoup la partie la plus importante de la dépense. Quand l'ouvrage est en déblai dans un sol résistant et qu'on peut réduire l'épaisseur des parois, quand il est en élévation à grande hauteur et qu'il faut en soutenir le radier par des substructions, quand il doit être couvert, d'autres considérations interviennent et peuvent conduire à des conclusions différentes. Puis les circonstances topographiques, les difficultés d'acquisition de terrains, les convenances architecturales influent aussi sur le choix et peuvent faire donner aux réservoirs des formes très diverses, parfois même irrégulières et sans aucun rapport avec celles qui résulteraient de tel ou tel motif théorique.

252. Epaisseur de la tranche d'eau. — La dépense de construction des réservoirs varie beaucoup avec l'épaisseur de la tranche d'eau qu'ils doivent contenir. Plus cette épaisseur est grande, plus la surface est réduite pour une capacité donnée, mais aussi plus l'enceinte doit être résistante ; et, si l'on veut obtenir la solution la plus économique, il faut évidemment dans chaque cas procéder par voie de tâtonnements.

Mais la considération de la dépense n'est pas la seule dont on ait à tenir compte. Il faut observer que, pour réduire les variations correspondantes de pression dans le réseau des conduites, on doit éviter de trop grandes dénivellations dans le réservoir, et qu'à ce point de vue, il y aurait avantage à diminuer la hauteur de la couche d'eau emmaganisée et par suite à en augmenter la surface. D'autre part une hauteur d'eau trop faible n'est pas sans inconvénients, car elle expose davantage aux variations de température et aux diverses causes d'altération ; et, comme il est toujours nécessaire de prendre l'eau à distribuer assez loin de la surface pour ne pas entraîner les poussières, et un peu au-dessus du fond pour ne pas agiter la vase, il en résulte en outre une réduction assez sensible de la fraction utilisable du volume total.

En pratique, l'épaisseur de la tranche d'eau dans les réservoirs est le plus ordinairement comprise entre 2 et 5 mètres.

253. Dispositions diverses. — Les réservoirs sont presque toujours divisés en deux *compartiments*, dont l'un reste en service pendant que l'autre est mis en nettoyage ou en réparation : c'est une excellente mesure à laquelle il est bon de se conformer. Mais il est inutile de pousser la division plus loin, à moins qu'on n'ait à desservir plusieurs réseaux distincts ou à distribuer des eaux de natures différentes ; ce serait compliquer les dispositions de l'ouvrage et les manœuvres, sans aucun motif, à moins que l'on ne veuille, en obligeant l'eau à passer par plusieurs bassins successifs, s'opposer à une stagnation même partielle. Cette dernière considération est invoquée parfois en Allemagne pour justifier

la construction de murs intérieurs, que l'eau doit contourner pour se rendre de l'orifice d'arrivée à celui de départ ; on trouve ces sortes de *chicanes* aux réservoirs de Schmelz et de Rosenhügel à Vienne.

Les matériaux employés pour la construction des réservoirs doivent être de nature telle qu'il ne puisse résulter de leur contact avec l'eau une altération quelconque de ses qualités ; si l'on est contraint exceptionnellement d'utiliser des matériaux qui donnent des craintes à cet égard, on doit avoir soin de les protéger par un revêtement ; on empêchera, par exemple, les terres argileuses de se délayer en les recouvrant d'un perré ou d'un bétonnage, on protégera la tôle contre la rouille par une peinture ou un enduit.

Une *couverture* est toujours utile, elle garantit l'eau contre la projection de corps étrangers, contre la chute des poussières de l'air ; en la mettant à l'abri de la lumière, elle s'oppose au développement de la vie végétale et de la vie animale ; si elle a une épaisseur suffisante elle la défend en outre contre les variations de température. On ne peut dire évidemment qu'une couverture soit indispensable quand l'eau séjourne peu de temps dans les bassins, quand elle y arrive déjà à une température voisine de celle de l'air et variable avec elle, lorsque, surtout, elle n'est pas destinée aux usages domestiques ; mais elle offre de précieux avantages au contraire s'il s'agit d'empêcher l'altération d'une eau à température constante, destinée à la boisson, et qui, exposée un peu longtemps à l'air sous un climat chaud ou tempéré, risquerait fort d'y perdre la plupart de ses qualités.

§ 2.

RÉSERVOIRS EN DÉBLAI

254. Conditions d'établissement. — La meilleure situation qu'on puisse rencontrer pour un réservoir est celle où ils se trouve entièrement en déblai, soit dans une dépression naturelle, soit dans une fouille ouverte pour le recevoir. La dépense à faire pour l'établissement de l'enceinte se trouve ainsi réduite au minimum, puisqu'on profite de la résistance propre du sol et que souvent il suffira de recouvrir les parois d'un revêtement destiné uniquement à en empêcher l'altération. On obtient d'autre part une très grande sécurité, puisqu'il n'y a pas à craindre de ruptures de l'enceinte par le renversement des parois ; tout au plus y a-t-il quelques précautions à prendre contre les infiltrations possibles, qui dans tous les cas ne sauraient avoir pour conséquence une inondation ou une catastrophe quelconque.

Mais, pour établir un réservoir en déblai, il faut trouver réunies plu-

sieurs conditions favorables qui font souvent défaut : un terrain disponible au niveau convenable, un sol suffisamment résistant et que le contact de l'eau ou les infiltrations ne peuvent ni délayer ni dissoudre, un déblai point trop dur ni trop dispendieux. L'absence de la première de ces conditions oblige souvent à établir les réservoirs au-dessus du sol, soit partie en déblai et partie en élévation, soit entièrement en élévation, ce qui sûrement n'est pas aussi avantageux et offre moins de garanties.

255. Réservoirs en tranchée. — Il est rare qu'on puisse utiliser une dépression naturelle pour l'établissement d'un réservoir de distribution, rare aussi que le terrain soit inaltérable au contact de l'eau et complètement imperméable sans être très dur ; on est donc contraint de faire une fouille et d'en revêtir les parois.

Quand le terrain est compact et résistant, les parois de la fouille peuvent être tenues presque verticales ou sous une inclinaison très faible ; et, comme la poussée est nulle, le revêtement se réduit à la plus simple expression, à un enduit, par exemple, avec ou sans interposition d'une couche mince de maçonnerie ou de béton. Au réservoir d'Emmerin (distribution d'eau de Lille), établi dans ces conditions, le revêtement du fond, le *radier* est très mince et la maçonnerie du pourtour n'a que l'épaisseur nécessaire pour supporter la retombée de la voûte de couverture (*fig.* 207).

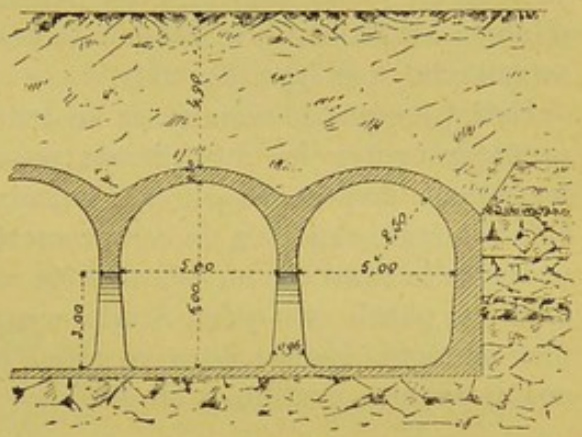


Fig. 207.

Quand le terrain, quoique compact, est trop peu consistant pour ne pas prendre un talus incliné lorsqu'on abandonne à elles-mêmes les

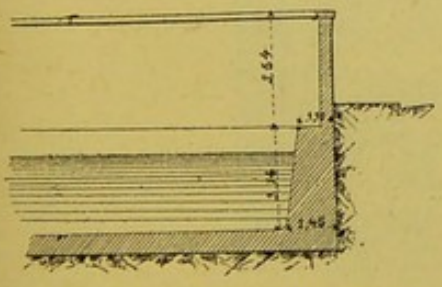


Fig. 208. — Réservoir Monceau.

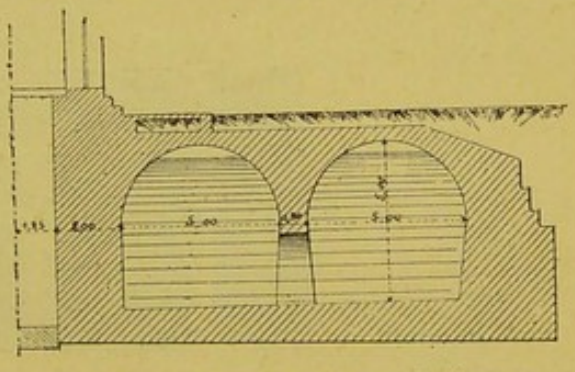


Fig. 209. — Réservoir de la Porte-Guillaume.

parois de la fouille, on peut bien encore ne donner au radier qu'une assez faible épaisseur, $0^m,20$ à $0^m,40$, par exemple, mais il faut nécessairement former l'enceinte soit au moyen d'un *mur* assez épais pour

résister à la poussée des terres, soit en réglant les terres suivant leur talus naturel et les recouvrant d'un *perré* ou d'un *bétonnage*. Le réservoir Monceau, à Paris, et celui de la Porte-Guillaume, à Dijon, sont des exemples du premier cas; celui des Buttes-Chaumont, à Paris, en est un

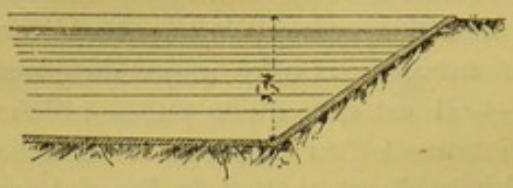


Fig. 210. — Réservoir des Buttes-Chaumont.

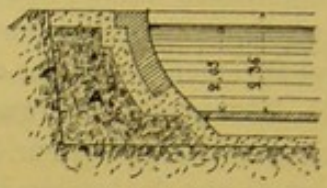


Fig. 211.

du second, il a été creusé dans les marnes vertes et l'on a simplement revêtu les talus d'une couche mince de béton. En Angleterre, on adopte parfois un profil courbe avec maçonnerie de faible épaisseur, sorte d'intermédiaire entre le mur et le perré; le réservoir de Port-Glasgow se rattache à ce type (*fig.* 211).

Enfin, lorsque le terrain est de telle nature qu'il est nécessaire de le protéger contre les infiltrations possibles, afin d'éviter des effets de tassement, de désagrégation, d'entraînement, d'amollissement, de dissolution même, capables de compromettre la solidité des ouvrages et d'en préparer la destruction, il faut avoir recours à des dispositions spéciales: c'est en pareil cas qu'en Angleterre on interpose souvent une couche plus ou moins épaisse de terre glaise ou d'argile; en France, on préfère ordinairement pratiquer un *drainage* sous le radier, afin de recueillir

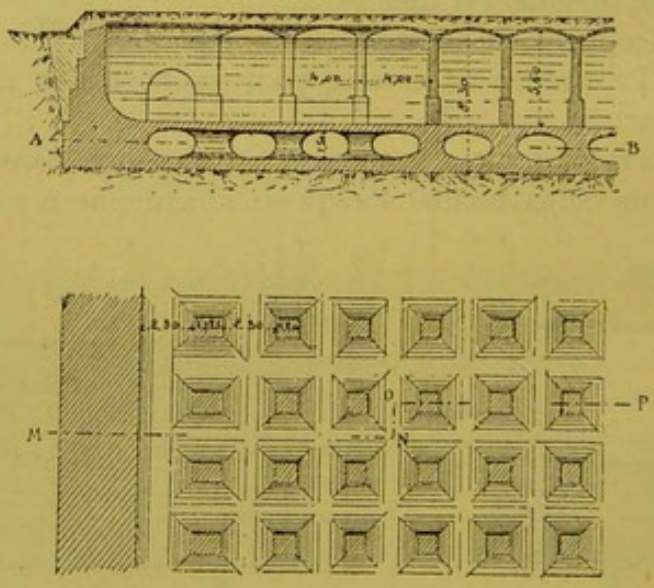


Fig. 212. — Réservoir de Villejuif.
Coupe suivant M, N, O, P. — Plan suivant A, B.

immédiatement et de conduire au loin les eaux d'infiltration; mais ce procédé n'est applicable qu'aux réservoirs construits au sommet ou sur

le flanc d'un coteau, car il faut assurer un écoulement facile à l'eau des drains. Lors de la construction récente du réservoir de Villejuif (1882), fondé sur un banc de gypse dur et compact mais assez soluble, les ingénieurs de la ville de Paris ont fait l'application d'un procédé coûteux, mais qui donne une sécurité complète : au-dessus du radier et dans toute son étendue ont été pratiquées des galeries, partout accessibles, où tombent nécessairement toutes les eaux d'infiltration et qui les conduisent à un égout avec lequel elles se raccordent; c'est encore un drainage, mais que l'on peut constamment surveiller dans toutes ses parties, et qui permet de visiter à toute époque le radier, d'en observer les fissures, d'en assurer la réparation; on y trouve en même temps le moyen de disposer commodément la tuyauterie d'arrivée et de départ de l'eau.

256. Réservoirs en souterrain. — Quelquefois, au lieu d'établir les réservoirs à fleur de sol ou dans une tranchée à ciel ouvert, on se trouve amené à les construire à grande profondeur en ouvrant dans les couches du sous-sol des fouilles en souterrain. Cette méthode est excellente quand le terrain s'y prête : on obtient, en effet, par là, une couverture naturelle de grande épaisseur, et, par suite, une parfaite égalité de température et une sécurité absolue.

Tout récemment, des réservoirs souterrains ont été construits pour

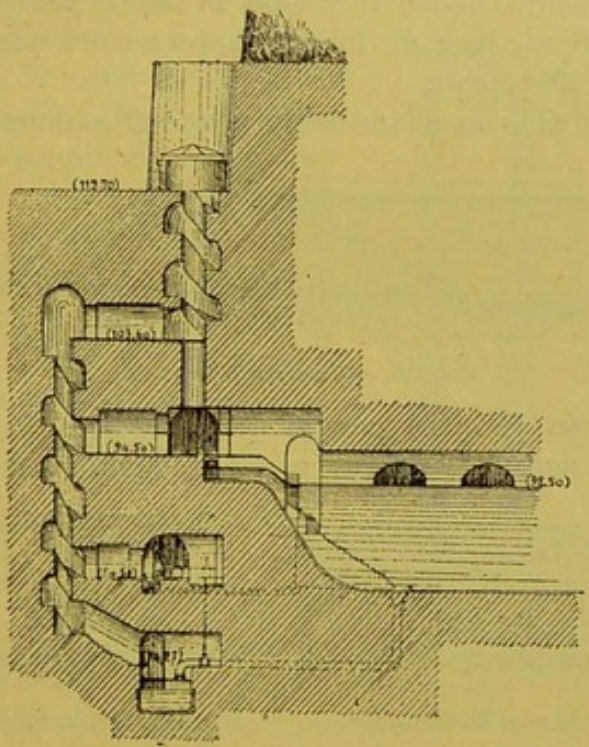


Fig. 213 — Réservoir de Naples.

la ville de Naples dans des conditions particulièrement favorables : il a suffi de creuser à cet effet de vastes galeries dans le tuf résistant, mais tendre, qui constitue les collines avoisinant la ville, et un simple enduit

de $0^m,05$ à $0^m,13$ d'épaisseur en tout y assure l'étanchéité. A Fécamp, à Sens, des réservoirs ont été creusés dans la craie compacte ; le ciel est resté apparent sans aucun revêtement, et les parois sont recouvertes d'une couche très mince de maçonnerie. A Nuremberg (Bavière), on cite un réservoir du même genre pratiqué dans une épaisse couche de grès avec un revêtement de briques.

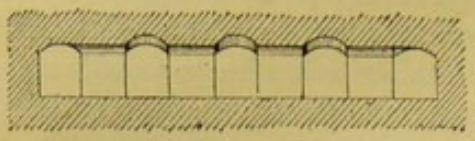


Fig. 214. — Réservoir de Nuremberg.

§ 3.

RÉSERVOIRS EN ÉLÉVATION.

257. Réservoirs partiellement en déblai. — Fréquemment les réservoirs sont placés de telle sorte que la tranche d'eau emmagasinée soit partie au-dessous, partie au-dessus du sol : ce cas se présente, par exemple, lorsque le terrain naturel n'est pas tout à fait à une altitude suffisante pour un réservoir entièrement en déblai, lorsqu'il présente à faible profondeur une couche dure dont le déblai serait coûteux et qui fournit une excellente base de fondation, ou encore quand l'ouvrage est construit à flanc de côteau.

Un revêtement plus ou moins épais peut suffire dans la partie basse

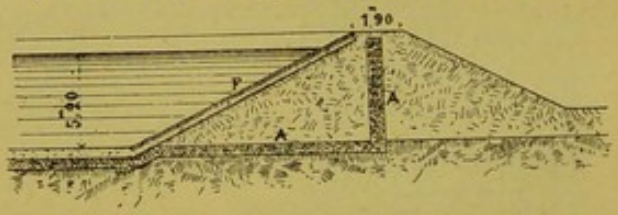


Fig. 215. — Réservoir d'Aberdeen.

où les parois sont formées par le sol naturel, mais, dans la partie haute, l'enceinte doit être rendue assez résistante par elle-même pour

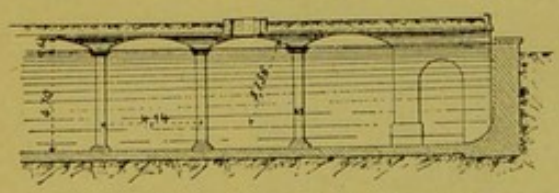


Fig. 216. — Réservoir de Charonne.

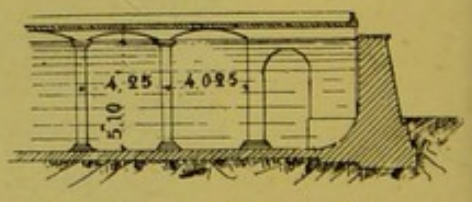


Fig. 217. — Réservoir de Gentilly.

supporter la poussée de l'eau, et composée entièrement de matériaux rapportés. Ce sera tantôt une *digue en terre* avec un revêtement F (*fig.* 215), fascinage, perré, etc., comme on en rencontre assez souvent en Angleterre, où il est en outre d'usage d'interposer un corroi d'argile A ;

tantôt, et plus généralement, ce sera un *mur en maçonnerie*. Dans bien des cas, la distinction entre la partie haute et la partie basse disparaît, et l'enceinte est formée sur toute sa hauteur par un mur, dont l'épaisseur est calculée soit en tenant compte de la résistance du sol naturel contre lequel il s'appuie latéralement vers sa base, soit exactement comme s'il était tout à fait en élévation et construit comme tel : ces deux dispositions se rencontrent à Paris, l'une au réservoir de Charonne, l'autre à celui de Gentilly ; les réservoirs de Vienne (Autriche), sont un exemple de la première, celui de Montmusard, à Dijon, se rattache à la seconde (*fig.* 237).

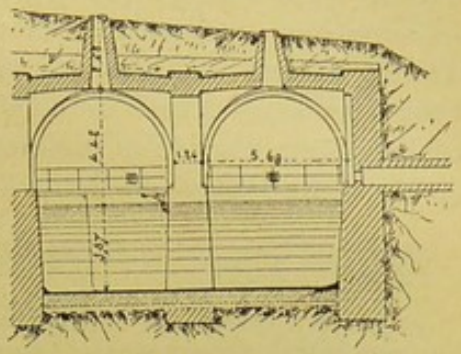


Fig. 218. — Réservoir de Rosenhügel (Vienne).

258. Réservoirs entièrement en élévation. — Quand le niveau du sol conduit à placer le réservoir entièrement en élévation, non seulement l'enceinte doit résister par elle-même à la poussée de l'eau sans aucune intervention du sol, mais en outre le radier doit être porté par des substructions dont les dispositions dépendent de la hauteur à leur donner et de la nature de la fondation. D'ordinaire, ces substructions se composent de voûtes en berceau ou de voûtes d'arêtes, dont les retombées sont portées par des murs ou des piliers, et qui forment parfois des galeries, utilisables soit pour la pose de la tuyauterie de service, soit même comme magasins. Les réservoirs du Panthéon et Racine, à Paris, l'ancien réservoir de Reims, celui d'Orléans, sont dans ce cas.

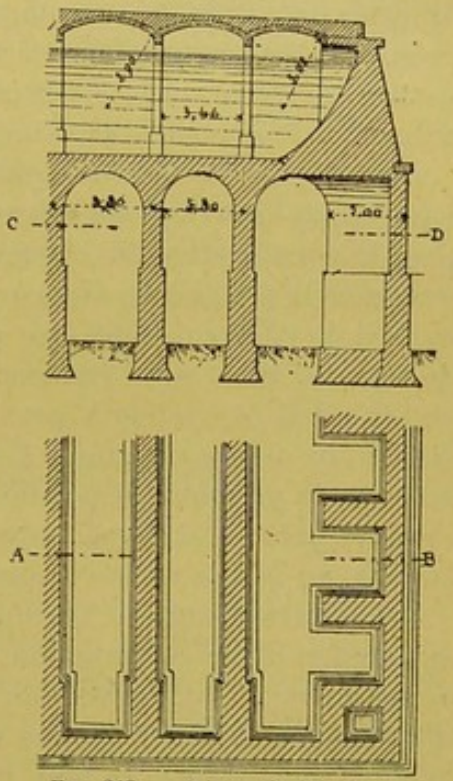


Fig. 219. — Réservoir d'Orléans.
Coupe suivant A, B. — Plan suivant C, D.

Afin de tirer un meilleur parti de cet étage inférieur, dont l'altitude du sol a fait une nécessité, on a été conduit, dans certaines circonstances, à le pourvoir d'un radier et à le transformer en un second réservoir placé au-dessous du premier. Tantôt le *bassin inférieur* sert uniquement de réserve et permet de faire exceptionnellement le service avec une pression un peu moindre en cas d'accident ou de pénurie d'eau : c'est le cas du réservoir de Montrouge à Paris (eau de la Vanne), où l'*étage supérieur*, de 100.000 mètres cubes de capacité, est destiné à faire ordinairement le ser-

vice, tandis que l'*étage inférieur*, qui peut contenir 150.000 mètres cubes, n'est utilisé que pour recevoir le trop-plein du premier et le suppléer pendant la nuit à l'époque des grandes consommations. Tantôt l'étage inférieur reçoit de l'eau d'une autre nature et se relie à un autre réseau de conduites, de sorte que l'ouvrage forme en réalité deux réservoirs distincts superposés : les réservoirs de Ménilmontant, de Passy, de Belleville, à Paris, en fournissent des exemples;

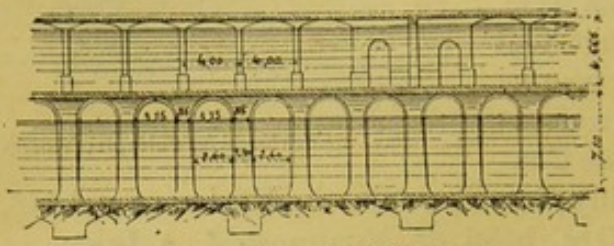


Fig. 220. — Réservoir de Montrouge.

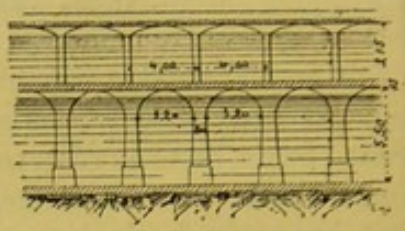


Fig. 221. — Réservoir de Belleville.

les bassins hauts assurent, dans la partie correspondante de la distribution, le service privé ou domestique en eau de source, et les compartiments du bas, le service public et industriel en eau de rivière. Un réservoir, actuellement en construction sur le sommet de la butte Montmartre, à Paris, ne comprendra pas moins de quatre étages superposés : les trois supérieurs sont destinés à recevoir des eaux de diverse nature et feront trois services différents, le quatrième est un simple support utilisé pour le passage des conduites.

Les dépenses d'établissement croissent très rapidement avec la hauteur de l'ouvrage au-dessus du sol, quand on emploie la maçonnerie pour la construction du réservoir proprement dit ; aussi est-on conduit à donner la préférence aux *cuves métalliques* dans la plupart des cas où le fond du réservoir doit être placé à un niveau très supérieur à celui du terrain. Elles sont fort employées pour les alimentations de gares, où l'eau doit être tenue à proximité des voies et à quelques mètres au-dessus du niveau des rails. Ces cuves sont à base circulaire ou rectangulaire : la première disposition est la plus avantageuse bien qu'elle ne se prête guère à la division du réservoir en deux compartiments; on y supplée au besoin en le composant de deux cuves juxtaposées.

259. Tours d'eau. — Quand une cuve formant réservoir est placée au sommet d'une construction de grande hauteur, l'ensemble prend le nom de *tour d'eau*. Le volume d'eau emmagasiné est alors toujours fort restreint; et, si l'ouvrage doit commander le service d'eau d'une ville de quelque importance, il faut renoncer à lui donner une capacité suffisante pour compenser les variations diurnes de la consommation et faire l'office de régulateur de la distribution. On ne lui demande plus que d'assurer la permanence de la pression dans les conduites, et c'est en agissant sur l'alimentation qu'on pare aux variations qui se produisent dans le service.

Les tours d'eau ne sont généralement employées que dans des localités où toute amenée d'eau par la gravité est impossible, et où il faut nécessairement recourir à des machines élévatoires. Les variations de débit s'obtiennent dès lors par l'arrêt ou la mise en marche d'une partie des pompes ou simplement par des changements de vitesse du système : le petit approvisionnement d'eau contenu dans le réservoir n'a d'autre rôle que d'empêcher les changements brusques de pression et de donner le temps nécessaire pour les manœuvres ; il n'en est pas moins appelé à rendre de précieux services, car, sans cet intermédiaire, la distribution, déjà difficile dans de pareilles conditions, deviendrait absolument précaire.

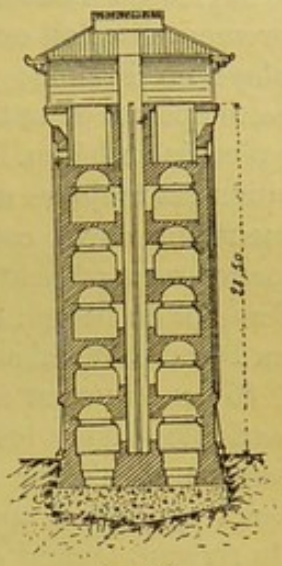


Fig. 222.

En Angleterre, en Allemagne, en Hollande, les tours d'eau sont assez répandues : elles ne sont guère usitées en France que dans des cas tout à fait exceptionnels. Tantôt la cuve proprement dite est portée sur une construction en maçonnerie, qui se prête à des dispositions plus ou moins architecturales et reçoit une décoration en rapport avec l'emplacement qu'elle occupe, et où, à côté de l'escalier d'accès les conduites ascendante et descendante trouvent aisément place. D'autres fois, le support est formé d'une charpente à claire-voie en bois ou en fer : à l'établissement d'Haarlem (eaux d'Amsterdam), les montants de ce support sont constitués par les conduites elles-mêmes, ce qui est une disposition à la fois rationnelle et économique.

§ 4.

MODE DE CONSTRUCTION DES RÉSERVOIRS.

a. — *Réservoirs en maçonnerie.*

260. Radier. — Dans les réservoirs en maçonnerie établis directement sur le sol naturel, le *radier* n'est qu'un simple revêtement destiné à protéger le sol contre les infiltrations, à en empêcher le délavage, et à faciliter les nettoyages périodiques : une couche de béton ou de maçonnerie de $0^m,20$ à $0^m,40$ d'épaisseur recouverte d'un enduit suffit dans la plupart des cas.

Dans les réservoirs en élévation, où le radier est placé à une certaine hauteur au-dessus du sol, il est porté par des voûtes, ou mieux formé par ces voûtes mêmes, dont on remplit les reins pour avoir une surface plane qu'on recouvre d'un enduit.

Une pente doit être donnée au radier de manière que l'eau n'y puisse séjourner quand on procède à la *vidange* du réservoir ou au nettoyage du fond; au point le plus bas est placé l'*orifice de décharge*. Parfois, au lieu d'une pente générale, toujours un peu difficile à obtenir sans bosses ni flaches et dont l'établissement exige un certain soin, on dispose une série de *caniveaux* qui remplissent le même office et aboutissent également à la décharge.

261. Murs d'enceinte. — L'enceinte s'exécute soit en maçonnerie proprement dite soit en béton. Vers 1840 le béton a été assez souvent employé en France; plusieurs des réservoirs de Paris, qui remontent à cette époque et ont été construits sous la direction de Mary, ont été exécutés en béton. Depuis on est revenu à la maçonnerie, dont la composition est toujours mieux connue, et qui, sans atteindre un prix sensiblement plus élevé, est sûrement moins exposée aux malfaçons. En Allemagne on a présenté dans ces dernières années comme une innovation l'emploi du béton : on a construit tout récemment de grands réservoirs en béton à Wiesbaden, à Munich, etc.

Si l'*enceinte* est appuyée sur le sol naturel on lui donne une épaisseur variable suivant les circonstances : elle peut constituer un simple revêtement et n'offrir aucune résistance par elle-même, ou au contraire, venir ajouter un appoint plus ou moins important à la résistance propre du terrain. Quand elle est en élévation, l'épaisseur du *mur* doit être calculée de manière qu'il puisse résister efficacement à la poussée de l'eau : le calcul ne présente d'ailleurs aucune difficulté ; il est analogue à celui des murs de soutènement, mais la substitution de la poussée de l'eau qui est parfaitement déterminée comme intensité, comme direction, comme point d'application, à la poussée des terres qui varie au contraire d'un cas à l'autre, le rend beaucoup plus simple et plus sûr [1]. Une

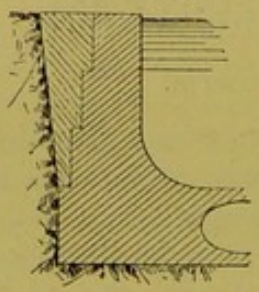


Fig. 223. — Réservoir de Villejuif.

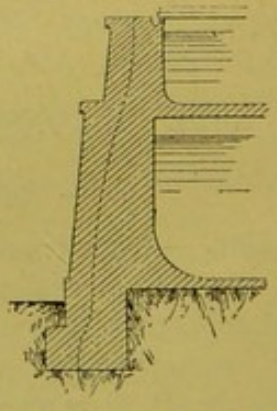


Fig. 224. — Réservoir de Passy.

règle empirique donnée par Dupuit a été appliquée parfois : elle consistait à donner au mur une épaisseur moyenne égale à la moitié de la

1. Voir dans l'*Encyclopédie des Travaux publics :* Flamant. Résistance des matériaux, p. 98.

hauteur de la tranche d'eau qu'il devait supporter. Cette proportion est exagérée ; et, surtout avec les excellentes maçonneries qu'on peut faire aujourd'hui en employant la chaux éminemment hydraulique et le ciment, il convient de se tenir notablement au-dessous et de ne jamais dépasser le tiers de cette hauteur. Au reste, la forme du profil influe beaucoup sur la stabilité du mur ; il est avantageux à ce point de vue de lui donner un fruit prononcé vers l'extérieur ; et, lorsqu'il y a plusieurs étages d'eau, on se trouve conduit à établir le mur supérieur en surplomb vers l'intérieur par rapport au mur de l'étage bas (*fig.* 224).

Les murs de séparation ou de *refend* doivent être établis de telle sorte qu'ils puissent également bien résister dans un sens ou dans l'autre selon celui des compartiments contigus qui est plein ou vide : leur profil doit

Murs de refend.

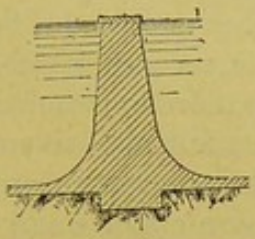


Fig. 225. — Réservoir de Gentilly.

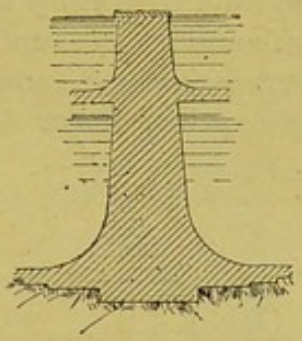


Fig. 226. — Réservoir de Belleville.

donc être symétrique, et, par suite, on est amené à leur donner le plus souvent un double fruit, une même inclinaison sur les deux faces. Comme les murs de pourtour, ils se raccordent presque toujours avec le radier par une sorte de congé ou *solin* de $0^m,50$ à $2^m,00$ de rayon.

On protège quelquefois les murs en élévation par un *revêtement en*

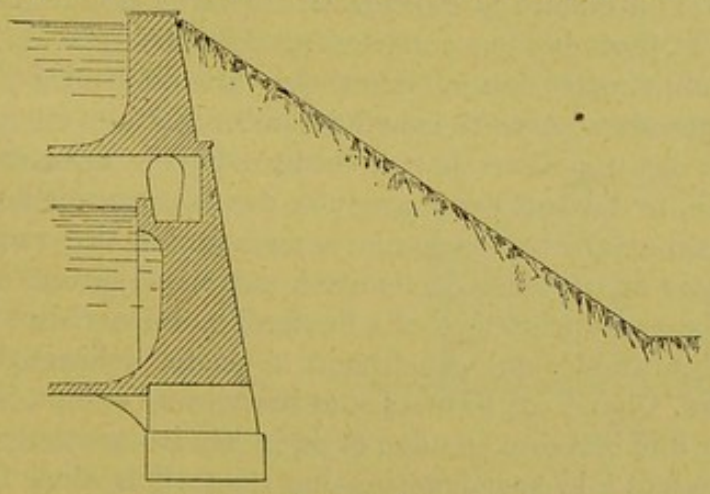


Fig. 227. — Réservoir de Montrouge.

terre formant talus gazonné : c'est une précaution excellente, quand elle est applicable, et un moyen très efficace de défense contre les variations

de température, dont les effets se traduisent, pour les murs découverts, par la production à peu près inévitable de fissures dans les maçonneries. Il faut disposer pour ce genre de revêtement d'une étendue suffisante de terrain, car il en résulte une augmentation de la superficie de l'ouvrage d'autant plus considérable que la hauteur est plus grande. Une application en a été faite au réservoir de Montrouge à Paris où il s'agissait de conserver à l'eau de la Vanne qui s'y emmagasine la fraîcheur si appréciée des consommateurs.

262. Moyens employés pour obtenir l'étanchéité. — Quelle que soit la composition des maçonneries employées pour la construction des murs de réservoir, elles ne sauraient par elles-mêmes former une enceinte étanche. Toutes les maçonneries, en effet, même celles où les vides du sable sont entièrement remplis par la chaux, finissent par se laisser pénétrer par l'eau qui les délave et s'y fraie peu à peu un passage ; et, quant à celles qui sont hourdées avec un mortier maigre de ciment, elles sont essentiellement poreuses et constituent une sorte de crible que l'eau traverserait sans peine. Il est donc indispensable, pour obtenir l'étanchéité des bassins, d'avoir recours à l'interposition d'une couche de matière imperméable.

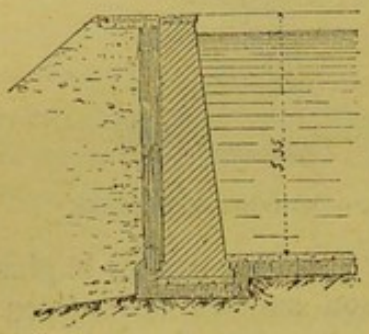


Fig. 228.

En Angleterre on fait souvent emploi d'argile à cet effet ; on en forme une sorte de corroi dont on recouvre entièrement les parois de la fouille, et qui se trouve ainsi placé entre le terrain et la maçonnerie (fig. 228) : ce procédé, d'ailleurs assez peu satisfaisant, n'est évidemment applicable qu'aux réservoirs complètement enveloppés de terre. En France le moyen employé d'une manière absolument générale consiste dans l'application d'un enduit de mortier de ciment (1 de sable fin pour 1 de ciment) sur la face des maçonneries qui doit être mise en contact avec l'eau ; cet enduit reçoit une épaisseur qui varie de $0^m,01$ à $0^m,04$.

Dans les grands réservoirs les effets de contraction ou de dilatation, qui résultent des variations de température de l'air ambiant ou de l'eau emmagasinée, ne tardent pas à produire des *fissures* soit dans les enduits seuls, soit même dans les maçonneries des murs et des radiers. Il faut donc avoir soin de procéder de temps à autre, et surtout aux changements de saison, au printemps et à l'automne, à des visites minutieuses, puis à des réparations, qui constituent la partie délicate de l'entretien des réservoirs. Quand ces fissures sont limitées à l'enduit, il suffit de le dégrader sur une certaine étendue et de le refaire partiellement ; mais, si elles s'étendent à la maçonnerie, une réparation ainsi faite n'aurait aucune chance de durée, et l'enduit neuf serait presque immédiatement dans le même état que l'ancien : il faut donc alors renoncer à fermer la fissure et s'attacher seulement à empêcher l'eau d'y pénétrer. On em-

ployait autrefois à cet effet des feuilles de plomb ; M. l'ingénieur en chef Couche a imaginé et fait appliquer à Paris un procédé nouveau qui a fort bien réussi : il consiste à poser au-dessus de la fissure préalablement dégagée avec soin une feuille mince de caoutchouc, que l'on colle au moyen d'une liqueur composée d'une dissolution de caoutchouc dans la benzine sur les lèvres de la fissure, après les avoir parfaitement nettoyées, dressées et séchées : l'élasticité du caoutchouc se prête aux mouvements de la maçonnerie et il résiste malgré son peu d'épaisseur à la pression de l'eau, surtout si l'on a soin de le protéger en le recouvrant d'une couche mince d'enduit de ciment.

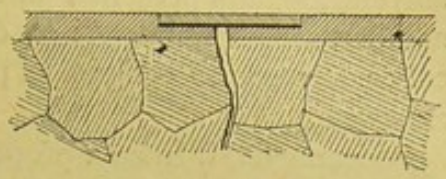


Fig. 229.

b. *Réservoirs métalliques.*

263. Cuves en tôle. — Les réservoirs métalliques se composent le plus ordinairement de cuves de forme cylindrique et à fond plat, construites au moyen de feuilles de tôle rivées : la paroi, grâce à sa forme, résiste aisément à la poussée de l'eau, et peut être composée de tôles de faible épaisseur, mais le fond est exposé à la flexion et il faut qu'il soit supporté par une aire en maçonnerie ou par un grillage en bois ou en fer. Quand la cuve reçoit une forme rectangulaire le même inconvénient se présente pour les parois, dont il faut alors prévenir les déformations en les renforçant par des cornières ou les reliant entre elles au moyen de tirants. Dans l'un et l'autre cas, l'entretien du fond plat de la cuve laisse à désirer, car, la face inférieure n'en pouvant être surveillée et entretenue comme il conviendrait au moyen d'applications périodiques de peinture ou d'enduit, la rouille s'y met et vient en compromettre la durée.

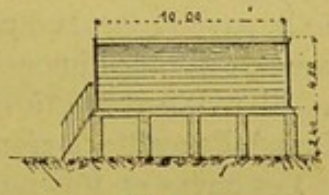


Fig. 230.

On peut remédier à cet inconvénient en remplaçant le fond plat par une calotte sphérique, dont le pourtour seul, renforcé au moyen d'une cornière, est solidement fixé sur le mur formant support, et qui reste entièrement apparente. Ce mode de construction a été appliqué pour la première fois en grand à Paris, lors de l'établissement de la cuve de 1200 mètres cubes de capacité, installée par Dupuit sur les hauteurs de Chaillot [1]. Le fond à calotte sphérique a l'avantage d'obéir librement aux effets de contraction et de dilatation dus aux variations de tempéra-

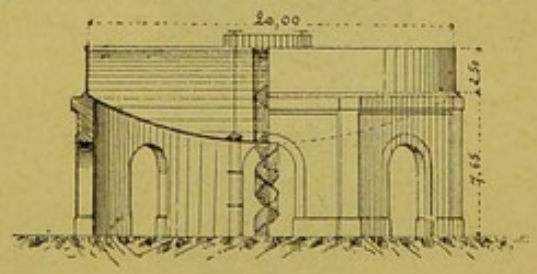


Fig. 231.

1. Les cuves de Chaillot n'existent plus ; elles ont été remplacées par le réservoir de Passy.

ture ; mais il est indispensable que rien n'entrave les mouvements qui en résultent, sous peine de provoquer des déchirures dont les conséquences pourraient être fort graves, et par suite les raccords de la tuyauterie doivent toujours présenter une élasticité suffisante. Ce type a reçu de nombreuses applications : on cite le réservoir d'Essen, de 2000 mètres cubes de capacité comme le plus grand peut-être des réservoirs en tôle existants.

Récemment M. Intze a proposé un nouveau type qui a sur le précédent le double avantage d'être plus léger et plus économique et de n'exercer sur le support que des efforts verticaux : il relie la paroi verticale cylin-

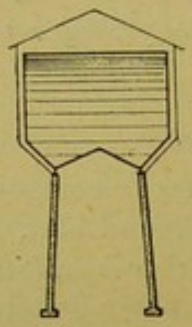


Fig. 232.

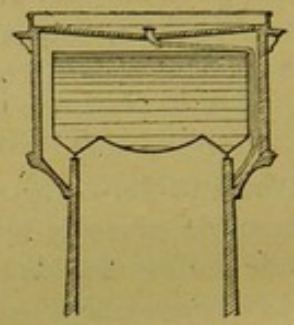
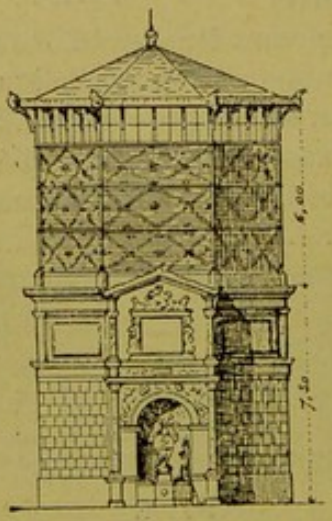


Fig. 233. — Réservoir de Düren.

drique à la couronne d'appui par une surface conique et donne au fond de la cuve la forme d'un cône, dont il supprime la pointe dans les réservoirs de grande dimension. Les applications faites à Remscheid (400 m. c.), à Thionville (500), à Düren (550), à Bremerhaven (600), ont, paraît-il, donné d'excellents résultats.

Les cuves en tôle ne défendent pas l'eau contre les effets des variations



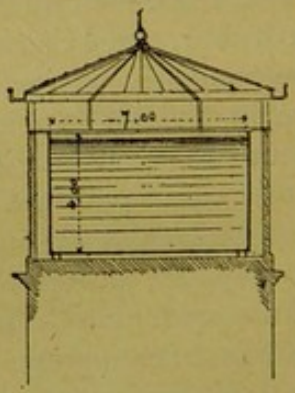


Fig. 234.

de température, et, s'il faut la soustraire à cette influence, il est nécessaire de les envelopper complètement au moyen d'une chemise en bois ou en maçonnerie que l'on recouvre d'une toiture légère. La figure 234

représente le petit réservoir du Château sur la butte Montmartre à Paris, où une cuve en tôle de 150 mètres de capacité, établie sur un support en maçonnerie, est enfermée dans une construction en fonte, fer et briques d'un aspect assez satisfaisant.

264. Cuves en fonte, cuves en ciment avec carcasse en fer. — On emploie quelquefois, mais plus rarement, des cuves en fonte composées de pièces boulonnées : la fonte a l'avantage de mieux résister que la tôle à l'action de l'air humide et de ne pas exiger autant de soins d'entretien, mais le poids considérable d'une construction de ce genre en restreint nécessairement les applications.

Depuis quelques années M. Monier établit des cuves en fer et ciment, qui ont été employées avec succès dans un certain nombre de cas; il noie une carcasse en fer à claire-voie, formée d'une sorte de grillage en fils de fer ou en barreaux légers, dans un enduit en ciment de quelques centimètres d'épaisseur. Les réservoirs ainsi obtenus sont beaucoup moins exposés que les cuves en tôle aux effets des variations de la température; ils ne craignent pas la rouille, leur entretien est presque nul et leur prix d'établissement peu élevé.

§ 5.

COUVERTURE DES RÉSERVOIRS.

265. Divers modes de couverture. — Nous avons déjà signalé l'utilité qu'il y a très souvent à recouvrir les réservoirs. Lorsqu'ils sont de petite dimension, on se contente de simples *toitures;* c'est le cas des cuves métalliques, du réservoir du Château cité au paragraphe précédent. Souvent aussi des bassins en maçonnerie peu étendus ont reçu des toitures reposant sur les murs de pourtour; à Paris même il y en a plusieurs exemples, les petits réservoirs de Passy, les anciens réservoirs de Charonne (*fig.* 236), etc. Ce mode de couverture est peu coûteux, il n'exige

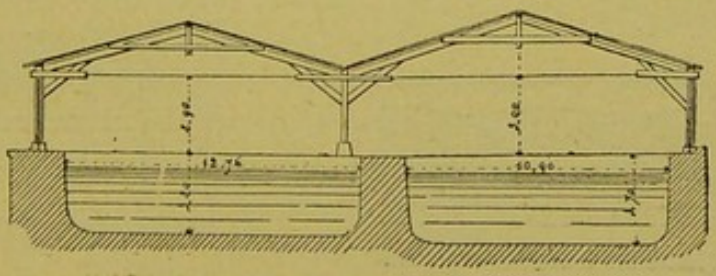


Fig. 235.

pas la construction dans l'intérieur même des bassins de piliers de support venant en restreindre la capacité, mais il est moins efficace que les

voûtes recouvertes de terre et comporte un entretien plus dispendieux.

Aussi l'emploi des *voûtes* s'est-il fort répandu, surtout pour les grands réservoirs, malgré l'inconvénient de la poussée qu'elles exercent sur les murs de pourtour toutes les fois qu'elles ne sont pas en *plein cintre*, et qui oblige à donner à ces murs un surcroît d'épaisseur, à moins qu'on ne préfère recourir à des massifs de maçonnerie indépendants et formant culées pour recevoir la retombée des voûtes. La couche de terre qu'on répand au-dessus ne les protège efficacement que si elle a au moins $0^m,40$ d'épaisseur; on adopte $0^m,40$ à $0^m,60$ en France; en Allemagne, où les différences de température sont un peu plus accentuées, on porte d'ordinaire cette épaisseur à 1 mètre et même $1^m,50$. Les deux types de voûtes les plus fréquemment employés sont les *voûtes en berceau* ou cylindriques, dont les retombées sont supportées par des murs, et les *voûtes d'arêtes*, formées par l'intersection de deux séries de berceaux et qui reposent sur des piliers à base carrée.

266. Voûtes en berceau. — La forme simple des voûtes en berceau et la facilité avec laquelle on les exécute, ont contribué à en répandre beaucoup l'emploi : tantôt en plein cintre, tantôt plus ou moins surbaissées, elles sont presque toujours appuyées sur l'enceinte même des réservoirs; si des supports intermédiaires sont nécessaires, ils sont constitués par des murs de faible épaisseur que l'on a soin d'évider le plus possible afin d'en diminuer le cube et le prix.

Quand le réservoir est en déblai, on peut quelquefois faire porter les voûtes directement sur le sol naturel, s'il a été jugé assez résistant pour

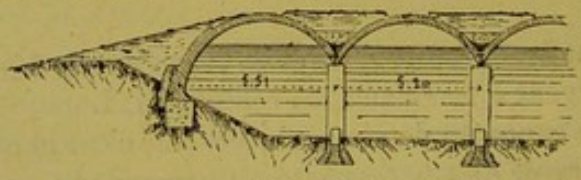


Fig. 236. — Réservoir de Greenwich.

constituer par lui-même l'enceinte du bassin. Le plus souvent, elles s'appuient d'une part sur les murs de pourtour, et d'autre part sur les murs intérieurs évidés, qui, établis parallèlement aux premiers, sont d'ordi-

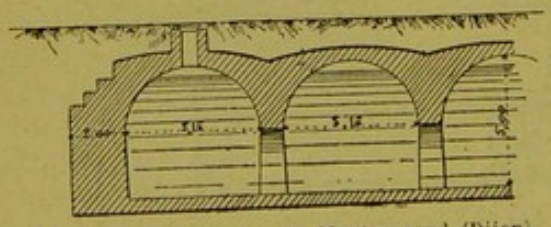


Fig. 237. — Réservoir de Montmusard (Dijon).

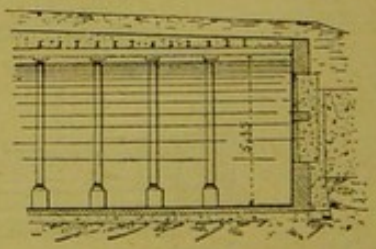


Fig. 238. — Réservoir de Canterbury.

naire rectilignes, mais peuvent être aussi construits sur plan circulaire, comme au réservoir de la Porte-Guillaume, à Dijon (*fig.* 209). Dans cer-

tains cas, les *murs évidés* sont remplacés par des *supports métalliques* formés de poutres en fer reposant sur des colonnes en fonte ; des planchers métalliques ou des voûtes en briques très légères et très surbaissées s'appuient sur les poutres en fer : les supports de ce genre ont l'avantage d'occuper fort peu de place et de restreindre sensiblement moins la capacité utile du réservoir correspondant ; mais ils sont presque toujours plus coûteux, et, si l'entretien n'en est pas très soigné, il est à craindre que le fer, exposé à l'air humide et toujours couvert de buée, ne vienne à être attaqué par la rouille.

267. Voûtes d'arêtes. — L'emploi des voûtes d'arêtes est souvent plus avantageux que celui des voûtes en berceau, à cause de la possibilité de les supporter au moyen de *piliers* très légers et peu coûteux, occupant à peine un espace plus grand que les colonnes en fonte des supports métalliques dont il vient d'être question. Mais leur construction exige des ouvriers habiles et soigneux, quelquefois même des matériaux spéciaux ; et les cintres sur lesquels on les établit, de forme toute particulière, doivent être démontés à chaque reprise et ne se prêtent pas, comme ceux des voûtes en berceau, à un travail par voie d'avancement successif, à la fois commode et économique. Aussi, doit-on en recommander plutôt l'adoption pour les grands réservoirs que pour les petits, pour ceux exécutés dans le voisinage des grandes villes, où le terrain est cher ainsi que les matériaux, mais les ouvriers exercés et adroits, plutôt que pour les ouvrages à exécuter dans les petites localités ou dans les pays où la main-d'œuvre est moins soignée. On les dispose presque toujours sur plan carré, comme l'indique la figure ci-contre, empruntée aux ouvrages de la distribution d'eau de Vienne (Autriche), et on les raccorde avec les murs de pourtour au moyen de petites portions de voûtes en berceau de même ouverture et de même flèche.

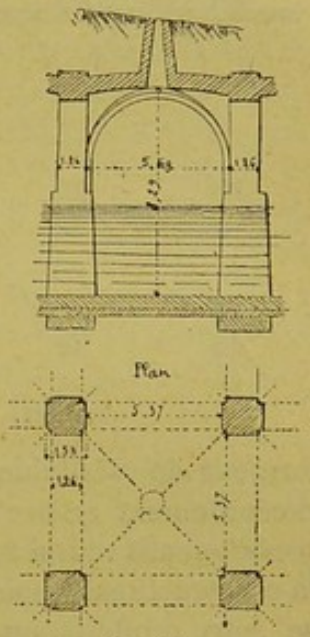


Fig. 239.

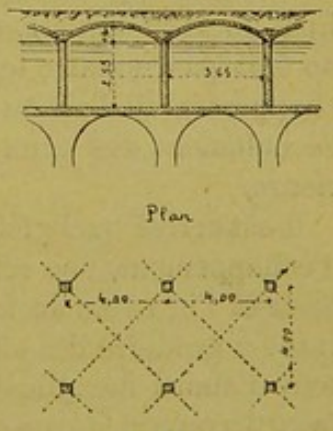


Fig. 240.

C'est au moyen de voûtes d'arêtes qu'ont été couverts les grands réservoirs construits à Paris par Belgrand. Le type qu'il avait adopté, et qui a reçu depuis de nouvelles applications, est remarquable par son extrême légèreté : l'épaisseur des voûtes est réduite, pour des portées de 4 mètres, à $0^m,07$ seulement, et à $0^m,11$ pour les portées de 6 mètres ; elles sont formées respectivement de deux et de trois cours de briquettes de $0^m,03$ d'épaisseur ; les piliers à base carrée, de 3 à 5 mètres de hau-

teur, sont en maçonnerie avec enduit, ou mieux en briques apparentes et ne reçoivent alors que $0^m,34$ et $0^m,45$ de côté. Afin que ces voûtes très surbaissées n'exercent aucune poussée sur les murs d'enceinte, la couverture a été rendue entièrement indépendante, et l'on a donné aux murs pleins ou évidés, de même épaisseur que les piliers, qui reçoivent les retombées des voûtes en berceau, une longueur suffisante pour qu'ils

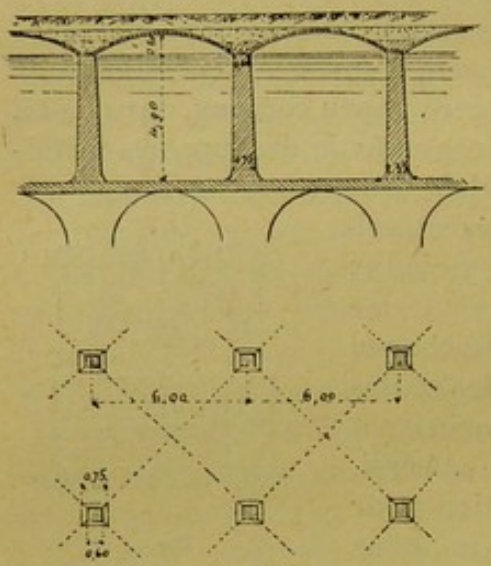


Fig. 241.

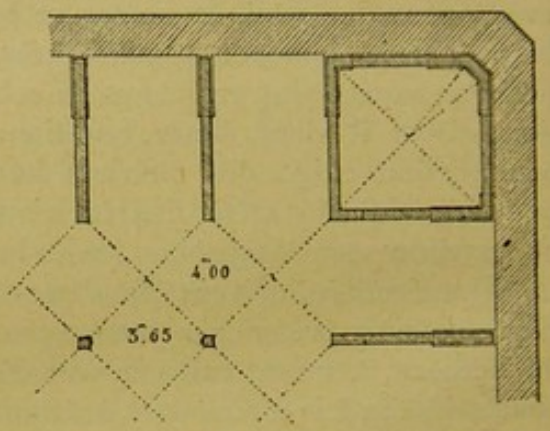


Fig. 242.

forment de véritables *culées*. Aux angles on a recours à des voûtes de raccordement en *arc de cloître*. Ce système est économique, et il a parfaitement réussi toutes les fois qu'on s'est astreint à prendre pendant la construction les soins et les précautions nécessaires ; plusieurs accidents se sont produits, au contraire, quand on a imprudemment réduit le nombre des cintres ou dirigé sans méthode le répandage des terres.

268. Échappement de l'air. Écoulement des eaux pluviales. — Lors de la construction des voûtes formant couverture des réservoirs, il ne faut pas omettre les dispositions spéciales destinées à permettre l'échappement de l'air au moment du remplissage des bassins, et à faciliter l'écoulement des eaux pluviales qui tombent sur la plate-forme supérieure.

Il est arrivé quelquefois, en effet, que, faute d'avoir préparé un moyen d'échappement, une certaine quantité d'air se trouvant emprisonné entre l'eau et l'intrados de la voûte et y subissant une compression, n'a pas tardé à produire des effets singuliers, des bruits, des chocs, qui ont paru tout d'abord inexplicables, et dont une recherche attentive a pu seule faire découvrir la cause. Ce phénomène a été constaté par Darcy à Dijon ; il a été observé aussi à Paris. Il suffit, pour faire disparaître tout inconvénient, de livrer issue à l'air par des ouvertures de forme quelconque,

auxquelles il n'est point nécessaire d'ailleurs de donner, comme on l'a fait parfois, la forme de *cheminées*. Le renouvellement de l'air doit, au reste, être assuré dans les réservoirs ; mais il faut qu'il soit assez lent pour ne pas influer sensiblement sur la température de l'eau emmagasinée.

La *terre gazonnée*, qui recouvre d'ordinaire les voûtes des réservoirs, absorbe tout d'abord les eaux pluviales qu'elle reçoit ; une partie est évaporée directement, une autre est utilisée pour la végétation, une autre enfin pénètre jusqu'aux maçonneries ; c'est celle dont il faut faciliter l'écoulement. A cet effet, on a soin de recouvrir l'extrados des voûtes, quelle qu'en soit la forme, de *chapes* ou enduits imperméables, et de disposer ces chapes de telle sorte que l'eau soit évacuée ou vers l'intérieur des bassins, ou au dehors ; le premier système est admissible quand l'eau emmagasinée dans le réservoir n'est pas d'une pureté absolue, ni à température constante ; mais il doit être absolument proscrit dans le cas contraire. L'écoulement des eaux pluviales vers le dehors est facile à obtenir quand la couverture est formée de voûtes en berceau qui laissent précisément entre elles une sorte de rigole dont l'utilisation est tout indiquée ; il n'en est plus de même avec les voûtes d'arêtes, dont l'extrados forme une série de cuvettes indépendantes, et l'on est alors obligé de remplir les cuvettes de béton maigre ou de sable avant d'étendre la chape au-dessus, afin d'obtenir soit une surface plane, soit une série de caniveaux.

§ 6.

APPAREILS ACCESSOIRES.

269. Fonctionnement des réservoirs. — L'utilisation d'un réservoir comporte l'emploi d'un certain nombre d'*appareils accessoires*, destinés à le relier avec les conduites d'amenée et de départ de l'eau, à isoler ou à réunir à volonté les divers compartiments, à en permettre le nettoyage et la vidange, à empêcher enfin l'eau de déborder au moment du plein.

En outre il faut, pour la commodité du service, y disposer des moyens d'accès, *échelles* ou *escaliers*, dont l'établissement est particulièrement délicat quand il y a plusieurs étages d'eau superposés : dans ce cas, et si l'étage inférieur n'est pas accessible du dehors, on est obligé de traverser l'étage supérieur, dans lequel on installe un puits, dont la paroi étanche a une hauteur un peu supérieure à celle de la tranche d'eau. Des *regards* et des *trous de descente* doivent être ménagés, pour l'approche des matériaux en cas de réparation ; d'autres ouvertures pour l'aération ou l'échappement de l'air, et même parfois pour l'introduction de quelques rayons de lumière.

Puis viennent les appareils destinés à donner à chaque instant l'indication ou l'enregistrement du niveau de l'eau, soit sur place, soit à dis-

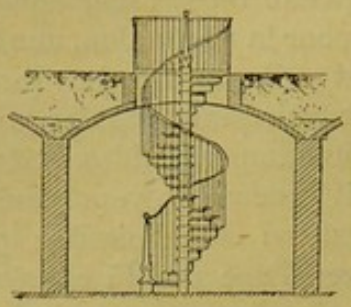


Fig. 243.

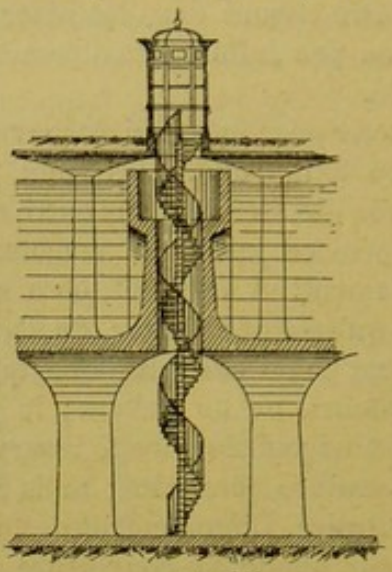


Fig. 244.

tance ; ceux qui permettent, à certains moments, la distribution directe, c'est-à-dire sans passage par le réservoir, etc.

270. Arrivée de l'eau. — L'eau peut être introduite dans un réservoir soit par le haut, soit par le fond. Le premier mode est le plus ordinaire ; il est adopté notamment quand le réservoir est placé en tête de la distribution et sert d'aboutissant à un aqueduc de dérivation ou à une conduite de refoulement qui ne fait pas de service en route. Le second s'applique particulièrement aux réservoirs qui se trouvent placés au bout du réseau de la distribution.

Si l'eau arrive par le haut, elle peut tomber dans le bassin en passant sur le seuil d'un *déversoir ;* cette disposition a été appliquée, à Paris, au

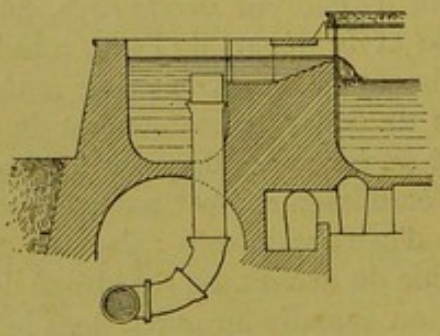


Fig. 245.

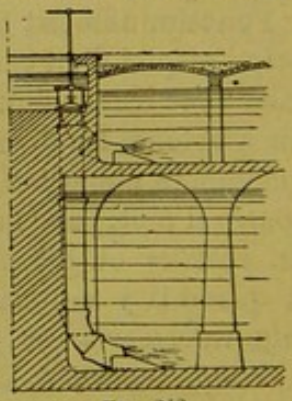


Fig. 246.

réservoir de Montrouge, où se termine l'aqueduc de la Vanne (*fig.* 246). Mais comme, au moment où le bassin est vide ou à peu près, l'eau, se précipitant d'une hauteur de plusieurs mètres, ne tarderait pas à dégrader le radier, on préfère souvent la conduire jusque sur le radier même au

moyen d'un tuyau dont, par surcroît de précaution, on prolonge l'extrémité recourbée par un petit plan incliné (*fig.* 247). La conduite d'amenée débouche d'ailleurs généralement dans un petit bassin ou *bâche*, d'où l'eau se rend au réservoir proprement dit par l'intermédiaire du déversoir ou du tuyau spécial. Il peut y avoir, dans certaines circonstances, utilité à suspendre l'arrivée de l'eau dans le réservoir; aussi dispose-t-on presque toujours sur le parcours un obturateur quelconque, vanne, bonde ou robinet, dont la fermeture lui interdit l'accès du réservoir et la rejette dans la distribution ou l'envoie à la décharge; une simple communication avec la conduite de distribution (*fig.* 248) suffit, d'ailleurs, car si l'eau trouve une issue avant de parvenir à la hauteur nécessaire pour pouvoir pénétrer dans le réservoir, elle cesse nécessairement d'y monter.

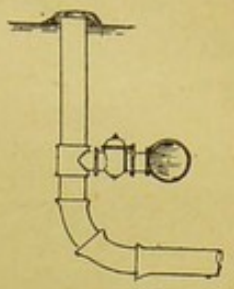


Fig. 247.

Quand un réservoir est alimenté par le fond, le même orifice sert, le plus souvent, à l'arrivée et au départ de l'eau tout à la fois. On recommande alors de placer cet orifice un peu au-dessus du radier, afin d'éviter l'entraînement de la vase par l'eau qui se rend dans la distribution. Il n'y a plus de bâche dans ce cas ; mais il est encore utile de disposer sur le parcours de la conduite un obturateur qui permette d'isoler, au besoin, le réservoir.

On a quelquefois adopté une disposition mixte qui permet à l'eau, tantôt d'arriver par le haut dans le réservoir, et tantôt de s'écouler par le

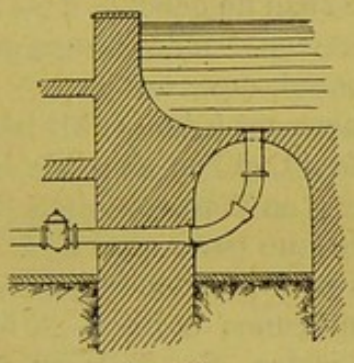


Fig. 248.

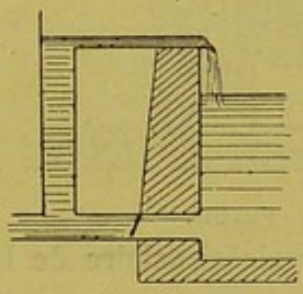


Fig. 249.

bas, bien qu'une seule conduite soit employée pour l'arrivée et le départ; cette disposition consiste à interposer, entre la conduite et le réservoir, un clapet automobile qui livre passage à l'eau contenue dans le bassin, quand, l'arrivée cessant par la conduite, le niveau piézométrique tombe au-dessous du plan d'eau dans le réservoir (*fig.* 250).

271. Répartition de l'eau entre plusieurs compartiments. — Lorsqu'un réservoir est partagé en deux ou plusieurs compartiments, il faut avoir le moyen de répartir l'eau à volonté entre ces compartiments.

A cet effet, la conduite d'amenée peut se diviser en deux ou plusieurs *branches* aboutissant aux divers bassins et munies de robinets, de ma-

nière que chacune d'elles, au besoin, soit mise en service isolément : c'est ce moyen qui s'applique généralement aux réservoirs alimentés par le fond (*fig.* 251).

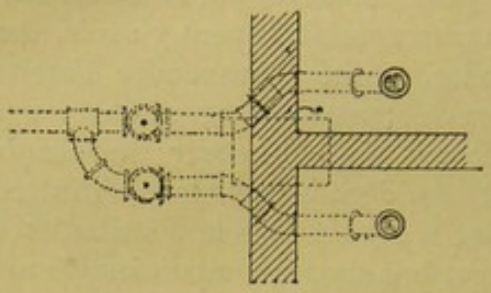


Fig. 250.

Quand l'alimentation se fait au contraire par le haut, la bâche, où débouche presque toujours la conduite d'amenée, est utilisée pour la *répartition* de l'eau. Des tuyaux, communiquant chacun avec l'un des compartiments, viennent la prendre dans la bâche, et il suffit d'ouvrir ou de fermer la bonde correspondante pour mettre l'un ou l'autre de ces tuyaux en service.

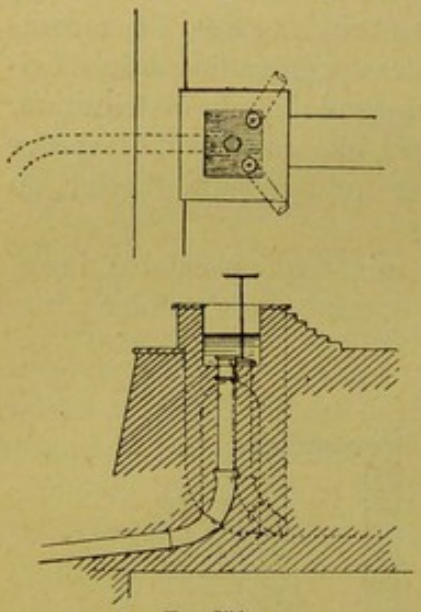


Fig. 251.

On doit toujours disposer un trop plein en communication avec la bâche, pour éviter que l'eau ne déborde dans le cas où elle arriverait en abondance sans qu'aucune des bondes soit ouverte.

L'emplacement à donner à la bâche n'est pas indifférent, et l'on simplifie beaucoup la tuyauterie en la plaçant dans une position symétrique par rapport aux bassins, et le plus près possible de chacun d'eux. Au réservoir circulaire de la Porte-Guillaume, à Dijon, la bâche est placée au centre (*fig.* 254); au réservoir de Villejuif, divisé en quatre compartiments, elle occupe aussi le point central (*fig.* 255); dans un grand nombre de réservoirs rectangulaires à deux compartiments, on la trouve disposée à l'une des extrémités du mur de refend et sur ce mur même (*fig.* 253).

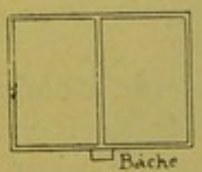


Fig. 252.

Fig. 253.

En temps ordinaire les divers compartiments d'un réservoir, qui sont affectés au même service se trouvent reliés entre eux par les conduites de distribution. Mais assez souvent, et pour faciliter dans certaines circonstances l'isolement ou la mise en communication des bassins, on dispose, à cet effet, une conduite spéciale munie d'une vanne ou d'un

robinet. Quelquefois aussi, les murs de séparation sont arasés à un

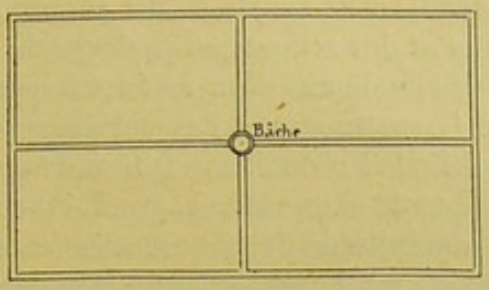


Fig. 254.

niveau un peu inférieur à celui du plan d'eau le plus élevé, afin qu'il se produise un déversement d'un compartiment dans l'autre avant qu'aucun d'eux ne soit complètement plein et prêt à déborder.

272. Départ de l'eau. — Quand le *départ* de l'eau ne s'effectue pas par la conduite même qui l'amène, et que l'on dispose une tuyauterie spéciale, on la fait déboucher dans le bassin même et de telle sorte qu'elle prenne l'eau un peu au-dessus du fond sans entraîner la vase qui s'y dépose toujours en plus ou moins grande abondance. On recommande, d'ailleurs, de placer autant que possible les orifices de départ en des points éloignés de l'arrivée, afin que l'eau ne soit pas exposée à rester stagnante dans quelque partie des bassins et qu'on puisse compter sur un renouvellement continu ; en Allemagne, nous l'avons déjà signalé, on va même jusqu'à employer des murs spéciaux formant chicanes pour obtenir plus sûrement ce résultat.

Des obturateurs spéciaux permettent nécessairement de mettre en service à volonté les diverses conduites de départ. C'est quelquefois une *vanne* verticale, mais plus souvent une *bonde*, fermant un orifice horizontal, et se manœuvrant au moyen d'une vis fixe sur laquelle se déplace

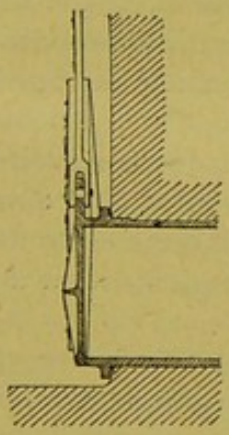


Fig. 255. — Vanne.

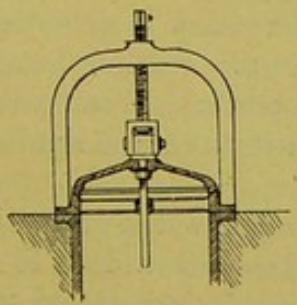


Fig. 256. — Bonde.

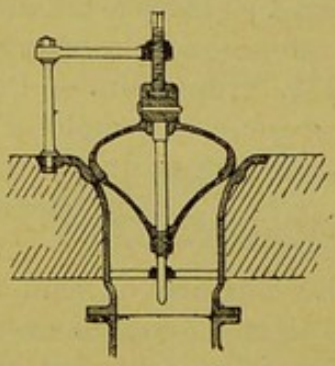


Fig. 257.

l'écrou mobile qui la porte. Récemment le service des eaux de Paris a été conduit à préférer à ce type de bonde, qui est appliqué à peu près partout, une disposition un peu différente et où la pièce mobile a reçu la

forme d'une poire ou d'une toupie, forme étudiée avec soin, afin de diminuer la perte de charge assez sensible qui se produit d'ordinaire par l'effet des contractions et des remous au passage de l'orifice. Il est bon de pourvoir la conduite de départ d'un robinet à quelque distance de la bonde ; cette double fermeture rend des services parce qu'elle assure l'étanchéité parfois difficile à obtenir avec un seul appareil ; elle permet de visiter et de roder la bonde sans vider la conduite correspondante.

Au moment où la conduite de départ est mise en communication avec l'eau du réservoir, l'air emmagasiné dans les tuyaux doit trouver une issue ; s'il s'échappe par la bonde même, il s'y produit des bouillonnements, des chocs, des bruits qui ne sont pas sans inconvénients ; et il est préférable de disposer tout spécialement pour l'évacuation de l'air un *tuyau d'évent* de petit diamètre qui va déboucher au-dessus du réservoir, en un point assez élevé pour ne jamais laisser écouler d'eau, même quand il se produit des coups de bélier par suite de quelque manœuvre trop brusquement opérée.

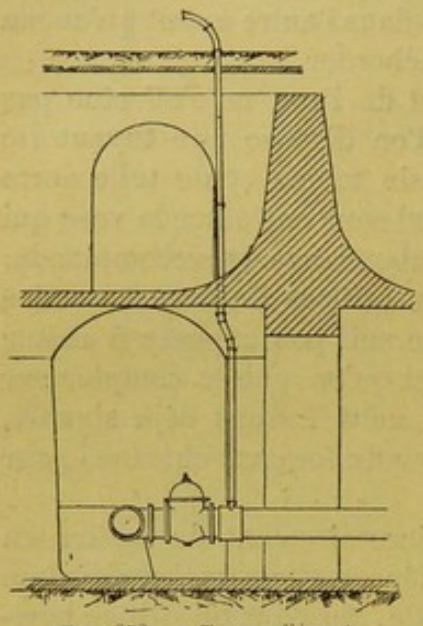


Fig. 258. — Tuyau d'évent.

Il est bon de prévoir le cas où l'on aurait à vider complètement le réservoir ; et, pour ne pas interrompre alors le service, il convient de disposer un système de *distribution directe*, qui consiste simplement dans une communication entre la tuyauterie d'arrivée et celle de départ, pourvue d'un robinet dont l'ouverture doit être faite en même temps que la fermeture des bondes dans les bassins. Quand le réservoir est pourvu d'une bâche, c'est souvent dans la bâche même que la communication s'établit ; il suffit d'y placer à cet effet une bonde de distribution à côté des bondes de remplissage du réservoir.

273. Trop-plein. — Pour empêcher le débordement des réservoirs, il n'est guère fait emploi d'autres moyens que l'établissement d'un déversoir, par où vient passer le superflu de l'eau pour tomber ensuite dans une conduite de décharge aboutissant à une rigole d'écoulement ou à un égout.

La longueur du seuil du déversoir doit être calculée de manière qu'il n'y ait même pas chance de débordement dans le cas le plus défavorable, celui où l'alimentation maxima coïnciderait avec une dépense absolument nulle. On est conduit à lui donner un assez grand développement quand, pour utiliser le mieux possible la capacité du réservoir, on se propose de réduire à quelques centimètres seulement l'épaisseur maxima de la lame déversante.

La plupart du temps le *trop-plein* est formé simplement par un tuyau vertical ouvert à sa partie supérieure et dont le bord horizontal forme déversoir. Souvent le développement linéaire du seuil ainsi obtenu serait insuffisant ; pour l'augmenter, on surmonte le tuyau d'une pièce en forme de tronc de cône dont l'évasement est dirigé vers le haut.

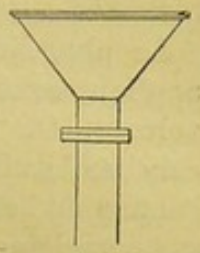


Fig. 259.

Dans les réservoirs de très grande superficie il peut y avoir intérêt à réduire au minimum la variation de niveau nécessaire pour assurer le déversement, et à recourir par suite à d'autres dispositions plus favorables ; les *siphons-déversoirs*, dont il a été déjà question dans un chapitre précédent, pourraient rendre des services en pareil cas. Rien n'empêcherait de recourir aussi à une *soupape* s'ouvrant tout à coup par l'effet d'un flotteur quand l'eau atteint un niveau déterminé ; un type de soupape de ce genre, imaginé par M. l'ingénieur Decœur, se prêterait fort bien à remplir cet office ; la disposition en est telle que le flotteur n'a pas à faire d'effort considérable ; il entraîne une très petite soupape auxiliaire, dont l'ouverture permet la mise en pression d'une sorte de cloche de grande dimension, ou de soupape équilibrée qui se lève alors automatiquement en dégageant un orifice de grand diamètre.

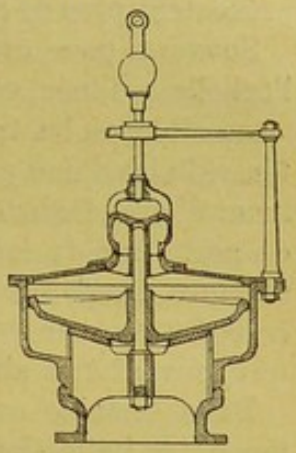


Fig. 260.—Soupape Decœur,

274. Vidange. — Une bonde spéciale placée au point le plus bas du radier, et manœuvrée du haut par le moyen d'une longue tige verticale comme les bondes de distribution, sert d'ordinaire à la *vidange* de chaque compartiment. Ici la perte de charge est sans importance aucune, et il serait inutile de chercher à faciliter l'écoulement en donnant à la bonde une forme différente de celle qui est généralement adoptée. On peut se contenter d'ailleurs d'un orifice d'assez petit diamètre, car il n'est généralement pas nécessaire d'obtenir un écoulement rapide de la quantité d'eau à mettre en décharge pour un nettoyage ou une réparation : cette quantité d'eau n'est pas très considérable dans la plupart des cas, parce qu'on ne se sert de la bonde de vidange que pour évacuer la couche d'eau inférieure mélangée de vase qui ne s'écoule point par les bondes de distribution. Une seule et unique conduite d'évacuation reçoit presque toujours à la fois le trop-plein et la vidange.

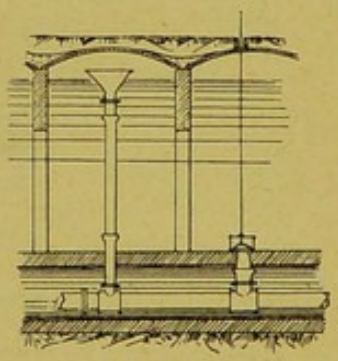


Fig. 261.

275. Indicateurs de niveau. — Le contrôle d'un service de distribution ne peut se faire que si l'on connaît les variations de niveau des

réservoirs correspondants ; aussi est-il bien rare qu'ils ne soient pas pourvus à cet effet d'appareils *indicateurs* qui permettent de suivre constamment ces variations.

Le plus simple de tous est une *échelle* ou règle graduée, que l'on applique contre l'un des murs de pourtour ou l'un des piliers de la couverture. On emploie divers matériaux pour la construction de ces échelles, mais il est assez difficile d'en trouver qui résistent bien à l'action de l'eau : la peinture sur bois s'efface assez vite, les indications sur porcelaine même disparaissent au bout de quelques années, la tôle émaillée s'écaille ; la lave émaillée résiste assez bien, mais elle est fragile ; la fonte ou le zinc avec indications en relief, le laiton découpé présentent plus de garanties de durée.

Souvent, pour éviter l'obligation de venir relever les indications de l'échelle graduée, et en particulier quand le réservoir est couvert ou peu accessible, on les transmet au moyen d'un *flotteur,* qui produit, par l'intermédiaire d'une poulie et d'une corde ou d'une chaînette, le déplacement d'un index sur une règle graduée ou d'une aiguille sur un cadran, de sorte que la lecture est rendue plus facile, même à une certaine distance. Parfois on se sert du flotteur pour la commande d'un appareil *enregistreur,* sur lequel viennent s'inscrire toutes les variations du niveau, qui peuvent être ainsi constatées d'une manière continue.

Dans certains cas il peut être utile d'obtenir la transmission à distance des indications relatives aux variations du niveau de l'eau dans les réservoirs. Un grand service occupant un personnel nombreux peut employer à cet effet un réseau télégraphique spécial, au moyen duquel

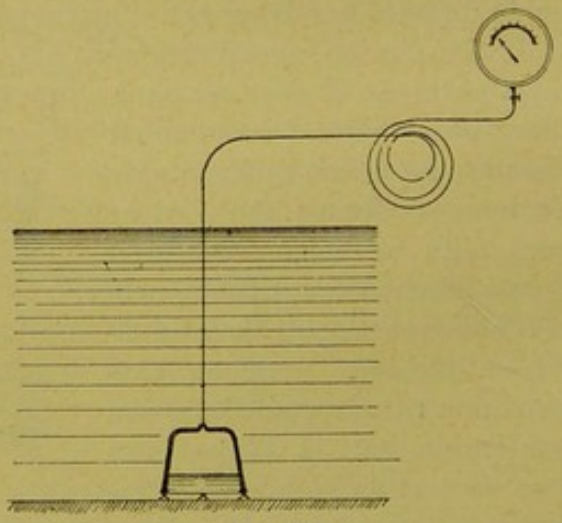


Fig. 262.

les agents fournissent de temps à autre les renseignements nécessaires : ce système est appliqué à Paris depuis fort longtemps déjà ; il fonctionnerait également bien avec le téléphone. Mais cette solution ne saurait être généralisée, et depuis quelques années le problème de la transmis-

sion à distance des indications d'une échelle a donné lieu à la construction d'un certain nombre d'appareils, dont quelques-uns sont fort ingénieux et ont été appliqués avec succès : c'est le plus souvent un courant électrique qui relie entre eux le transmetteur et le récepteur. Nous n'aborderons pas la description de ces appareils qui ne rentre pas dans notre cadre; nous croyons devoir seulement en signaler un qui est remarquable par son extrême simplicité : c'est l'*hydromètre* Decoudun qui se compose d'une cloche à air descendue au fond du réservoir et reliée à un manomètre convenablement gradué par un tube de laiton, extrêmement fin et souple, qui peut être posé sur une grande longueur comme un fil télégraphique; l'air se comprime plus ou moins dans la cloche, suivant la hauteur de l'eau, dont les variations sont indiquées à chaque instant par l'aiguille du manomètre; il suffit de relever de temps en temps la cloche pour y renouveler l'air et assurer ainsi la permanence des indications de l'appareil.

Enfin l'indicateur peut se compléter par l'addition d'un appareil *avertisseur* qui donne un signal d'alarme, par exemple dans le cas où l'eau atteint le niveau du trop-plein, ou lorsque le réservoir se vide tout à coup par le fait de la rupture d'une des grosses conduites de distribution.

CHAPITRE XII

DISTRIBUTION GÉNÉRALE

Sommaire :

§ 1er. *Divers modes de distribution de l'eau.* — 276. Service constant. — 277. Service intermittent. — 278. Pression dans les conduites. — 279. Double canalisation. — 280. Division par zones et par étages.

§ 2. *Tracé de la canalisation.* — 281. Généralités. — 282. Réseaux ramifiés. — 283. Réseaux maillés. — 284. Détermination des diamètres. — 285. Emploi des formules et des tables.

§ 3. *Tuyaux de conduite.* — 286. Matériaux employés à la confection des tuyaux. — 287. Fabrication des tuyaux de fonte. — 288. Dimensions des tuyaux de fonte. — 289. Réception et épreuve des tuyaux de fonte. — 290. Assemblage des tuyaux de fonte. Divers types de joints. — 291. Pièces de raccord. — 292. Tuyaux de plomb. — 293. Tuyaux de fer.

§ 4. *Pose des conduites.* — 294. Conduites en terre. Conduites en galerie. — 295. Disposition des conduites en plan et en profil. — 296. Profondeur des tranchées. — 297. Dispositions particulières dans certains cas spéciaux. — 298. Pose en tranchée. — 299. Butées. — 300. Pose en galerie. — 301. Branchements et prises.

§ 5. *Appareils accessoires des canalisations d'eau.* — 302. Rôle multiple des appareils accessoires. — 303. Appareils employés pour l'arrêt ou la décharge. — 304. Robinets à boisseau. — 305. Robinets-vannes. — 306. Manœuvre des robinets de grand diamètre. — 307. Pose des robinets. — 308. Appareils servant à l'évacuation de l'air. — 309. Appareils divers.

§ 6. *Entretien des canalisations d'eau.* — 310. Influences diverses auxquelles sont exposées les canalisations d'eau. — 311. Effets du passage de l'eau dans les conduites. — 312. Surveillance et entretien courant des canalisations d'eau. — 313. Réparations des conduites et appareils. — 314. Enlèvement des dépôts adhérents.

§ 7. *Exploitation des services d'eau.* — 315. Manœuvre normale des appareils. — 316. Présence de l'air dans les conduites. Effets de la vidange et du remplissage. — 317. Recherche des fuites. — 318. Méthodes employées pour restreindre les pertes d'eau par les fuites invisibles.

§ 1er.

DIVERS MODES DE DISTRIBUTION DE L'EAU

276. Service constant. — Au sortir des réservoirs, l'eau pénètre dans le réseau des conduites qui constitue l'outillage de la distribution proprement dite. C'est par l'intermédiaire de ce réseau de conduites qu'elle parvient aux orifices destinés à la répartir sur la voie publique ou dans les maisons.

Pour qu'elle puisse être partout et à tout moment à la disposition du consommateur, il faut que les conduites soient toujours pleines et en pression de telle sorte qu'il y ait sans cesse de la charge sur les orifices.

Lorsque cette règle est suivie, on dit que l'on a un *service constant*. L'ensemble de la canalisation forme alors, suivant l'expression de Dupuit, « une sorte de nappe souterraine d'où l'eau peut jaillir en chaque point; » et à tout moment, la nuit comme le jour, il suffit d'ouvrir un orifice quelconque pour obtenir immédiatement l'eau dont on a besoin.

L'avantage est manifeste; mais il ne peut être obtenu qu'à la condition d'avoir un volume d'eau sensiblement supérieur à la consommation et une pression excédant un peu le strict nécessaire : en effet, avec les conduites constamment en charge, les fuites, qui sont inévitables, donnent lieu à des écoulements continus, et par suite à des pertes d'une certaine importance, réduisant d'autant le volume d'eau utilisable; et d'autre part, s'il n'y avait un excès de pression, les variations du service auraient pour résultat de diminuer ou de supprimer à certains moments la charge sur les orifices. C'est une question de dépense, devant laquelle on ne recule jamais d'ailleurs en France ni sur le continent européen, mais qui a motivé, en Angleterre, l'introduction et le maintien d'un autre mode de distribution dit *service intermittent*.

277. Service intermittent. — Encore très répandu dans les îles Britanniques, quoique depuis longtemps battu en brèche et sans aucun doute destiné à disparaître, le service intermittent diffère du service constant en ce qu'il laisse les conduites ordinairement vides ou plus exactement sans pression; l'eau est introduite successivement dans les diverses fractions du réseau, soit chaque jour à certaines heures, soit chaque semaine à certains jours, souvent pendant la journée seulement et non durant la nuit, toujours d'une façon périodique et régulière. Chacun fait alors sa provision d'eau, qui doit suffire à tous les besoins pendant l'intervalle de deux distributions.

Ce système a incontestablement certains avantages pour celui qui a la charge de la fourniture de l'eau, car il permet de réduire les pertes par la canalisation dans des proportions notables; il empêche le gaspillage, et, supprimant toutes variations possibles dans le service qui est uniformément réglé, il se prête à l'utilisation complète de la pression due à la hauteur de l'eau dans les réservoirs.

Mais d'autre part que d'inconvénients! Nécessité absolue pour le consommateur d'avoir dans sa demeure un réservoir parfois insalubre et toujours incommode; obligation pour l'exploitant d'ouvrir et de fermer les robinets à intervalles fixes et d'entretenir à cet effet un personnel attentif et exercé; difficulté ou impossibilité d'organiser un service public de lavage ou d'arrosage; exclusion de toute fontaine à écoulement continu, etc. En cas d'incendie, les garanties sont bien moindres, car si, dans les rues parcourues par les conduites principales, l'eau est en

pression et disponible, elle ne l'est pas dans les autres ; il faut appeler le fontainier, et, quand les robinets sont ouverts, attendre encore que les réservoirs particuliers se soient remplis pour avoir de la pression, ce qui peut exiger beaucoup de temps : on se rendra compte du défaut de sécurité qui en résulte par ce seul fait qu'à Manchester les pertes par le feu ont été réduites de 21 à 7 0/0 de la valeur des immeubles atteints par suite de la substitution du service constant au service intermittent !

Ajoutons que dans les conduites où l'eau est souvent sans pression, il peut se produire des infiltrations fâcheuses ; rien n'empêche les liquides ou les gaz avec lesquels ces conduites se trouvent en contact, d'y pénétrer par les défectuosités des joints et d'en venir contaminer le contenu.

Aussi, à moins de circonstances tout-à-fait exceptionnelles et de difficultés insurmontables, est-ce le service constant seul qu'on doit se proposer d'appliquer dans toute distribution d'eau nouvelle.

278. Pression dans les conduites. — Les anciennes distributions d'eau n'avaient à faire en général qu'un service *à basse pression* ou *de rez-de-chaussée :* elles servaient seulement à l'alimentation d'un certain nombre de fontaines de puisage placées sur la voie publique ou dans les cours des habitations, et c'était au moyen de seaux ou de pompes à bras, qu'on faisait parvenir l'eau aux étages. Dans ces conditions, la consommation d'eau reste assez faible, et l'un des progrès récents de l'hygiène a consisté à la développer en mettant l'eau plus à la portée du consommateur par les services *d'étages* ou *à haute pression*, particulièrement nécessaires dans les villes où les maisons sont élevées et divisées en appartements distincts.

L'eau à haute pression présente d'ailleurs un immense avantage au point de vue de l'extinction des incendies ; parvenant à toute hauteur et dans toutes les parties des maisons, elle permet de les arrêter bien souvent au début, ce qui est la meilleure des garanties contre la multiplication des désastres ; utilisable par jet direct, elle simplifie singulièrement le service des pompiers, supprime les *chaînes* pour l'alimentation des pompes, favorise en un mot la facilité des manœuvres, et, en améliorant les secours, diminue la gravité des sinistres.

Aujourd'hui la tendance générale est à l'introduction de la haute pression : presque partout on abandonne les anciens réservoirs placés trop bas pour faire un service d'étages, et on les reconstruit à un niveau plus élevé, en leur donnant en même temps, de manière à faire face à l'augmentation rapide de la consommation, une capacité bien supérieure.

Pour obtenir un bon service à haute pression, il faut qu'en tous les points du réseau canalisé le niveau piézométrique dépasse de quelques mètres le faîtage des maisons. Pour peu que le terrain soit accidenté et la consommation soumise à des variations diurnes considérables, cette condition n'est remplie que si l'on a en bien des points un excès de pression ; car, au moment des grands débits, il se produit une perte de charge

très notable dont il faut tenir compte, et pour avoir une pression suffisante aux points hauts il est indispensable d'en avoir une plus forte qu'il ne serait nécessaire dans les points bas. Il arrive même, dans le cas où la consommation est très importante au niveau du sol, que, malgré un grand excès de pression, le service laisse à désirer aux étages des maisons au moment où les prises d'eau inférieures sont ouvertes à gueule-bée; l'abaissement de pression qui résulte de l'ouverture simultanée d'un grand nombre d'orifices dans les points bas est également fâcheux quand l'eau est employée comme force motrice; on conçoit que les inconvénients deviennent parfois assez graves pour conduire à diviser le service en réseaux distincts.

279. Double canalisation. — Cette considération peut à elle seule justifier l'adoption de deux systèmes de conduites juxtaposés et desservant séparément l'un les besoins de la rue, des cours, des jardins, etc., l'autre ceux des maisons et des moteurs hydrauliques. La *double canalisation* permet en effet de réaliser, pour un des deux services, la permanence des pressions qu'il serait impossible d'obtenir avec une canalisation unique. Ce dédoublement est une complication sans aucun doute, mais qui n'a rien d'effrayant; et souvent il sera une conséquence toute naturelle de la double alimentation que des considérations différentes font rechercher d'autre part, ou de la création d'une distribution nouvelle à haute pression et en eau de qualité supérieure s'ajoutant, sans le remplacer, à un service ancien en eau médiocre et à basse pression.

Certaines personnes voient au reste dans la division systématique de toute distribution d'eau en deux services à pression différente, et fournissant séparément l'eau de boisson et l'eau de lavage, la solution rationnelle du problème de l'alimentation des villes.

Sans aller aussi loin, et sans préconiser la généralisation d'un mode de distribution que sa complexité et son prix nécessairement plus élevé doivent faire écarter souvent, nous devons reconnaître que, dans bien des cas, la double canalisation présente des avantages certains et doit être adoptée sans hésitation.

280. Division par zones et par étages. — Dans les très grandes villes les difficultés spéciales d'alimentation et de distribution qui résultent de l'énormité du débit nécessaire, les divisions administratives, ou les agrandissements successifs du périmètre à desservir, ont eu souvent pour conséquence la juxtaposition de plusieurs distributions d'eau complètement distinctes et séparées qui correspondent chacune à un périmètre déterminé.

C'est ainsi qu'à Paris le service privé se divise en deux *zones* alimentées respectivement par les eaux de sources que fournissent les deux aqueducs de la Dhuis et de la Vanne, et le service public en trois zones desservies séparément par le canal de l'Ourcq et les machines élevant l'eau de la Seine ou l'eau de la Marne.

Huit compagnies se partagent le service des eaux à Londres, et chacune d'elles assure la distribution dans une région bien délimitée, de sorte que la ville se trouve découpée en huit zones distinctes.

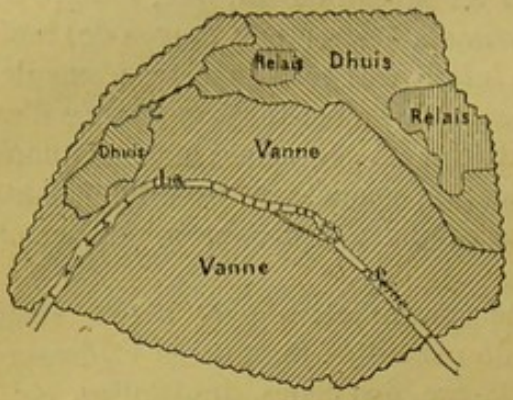


Fig. 263. — Paris. Zones du service privé.

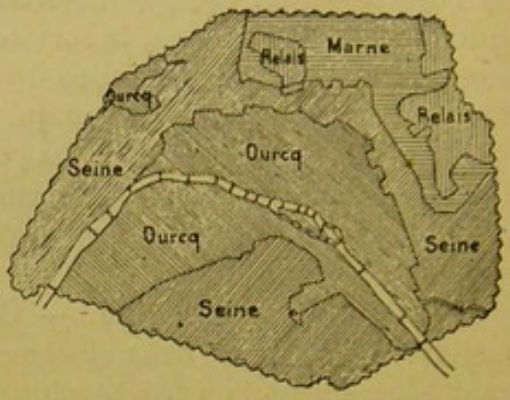


Fig. 264. — Paris. Zones du service public.

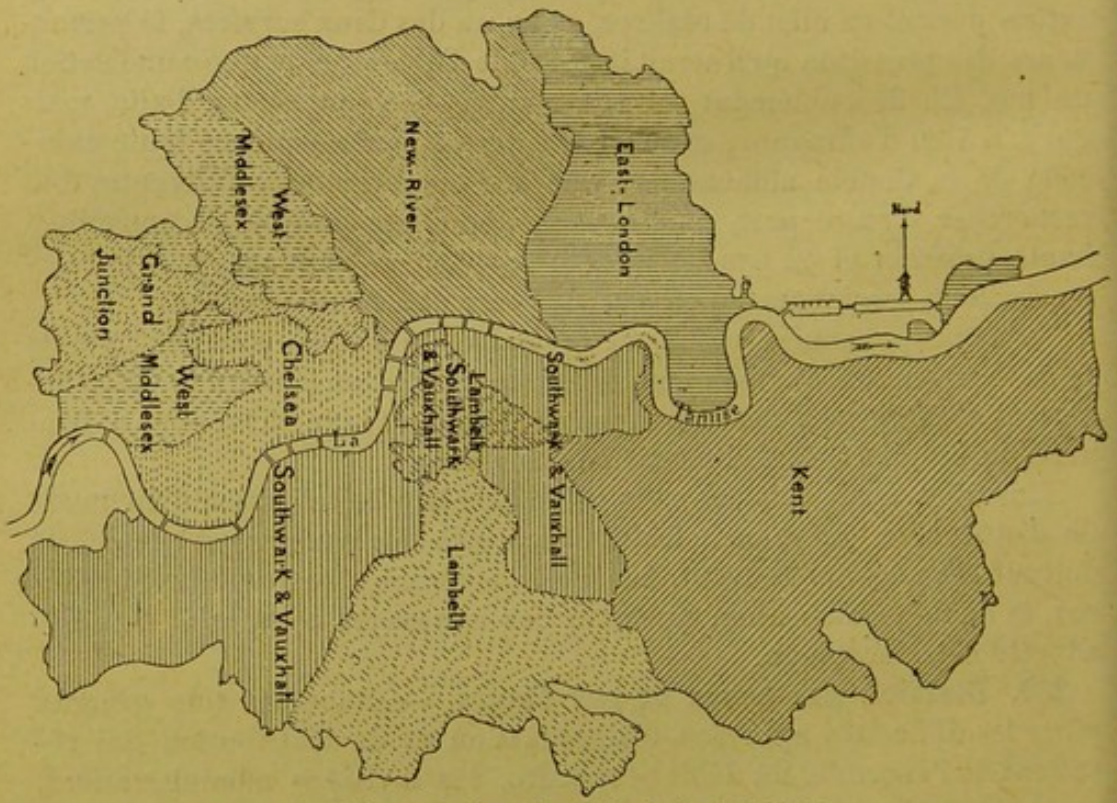


Fig. 265. — Londres. Zones des huit compagnies.

Fréquemment aussi, et même dans des villes de moindre importance, la déclivité prononcée du terrain provoque la division de la distribution d'eau en *étages*, c'est-à-dire en réseaux séparés et soumis à des pressions différentes. Il ne serait pas rationnel, en effet, de s'astreindre à porter à grands frais toute l'eau nécessaire à l'alimentation d'une ville à l'altitude requise pour en bien desservir les points hauts, quand une partie de la population habite des quartiers bas et peut être parfaitement alimentée avec une pression bien moindre; et le service par étages permet souvent

de réduire sensiblement les dépenses ou même d'utiliser certains modes

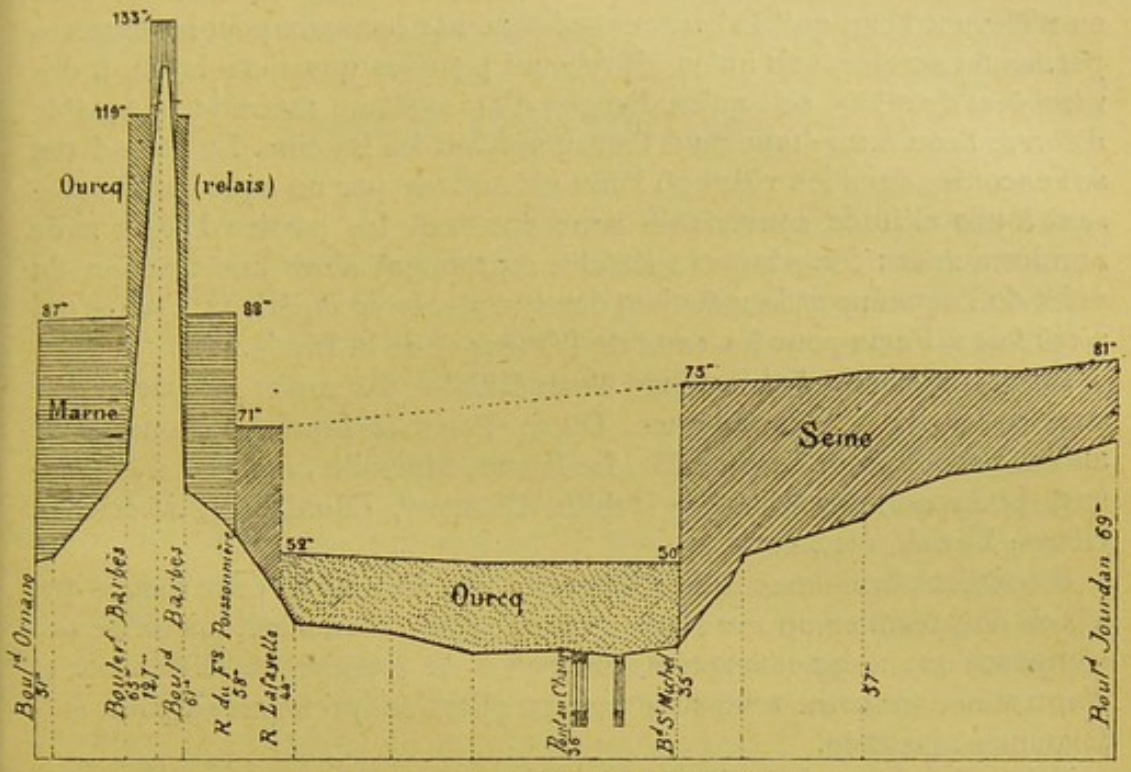


Fig. 266. — Paris. Étages du service public.

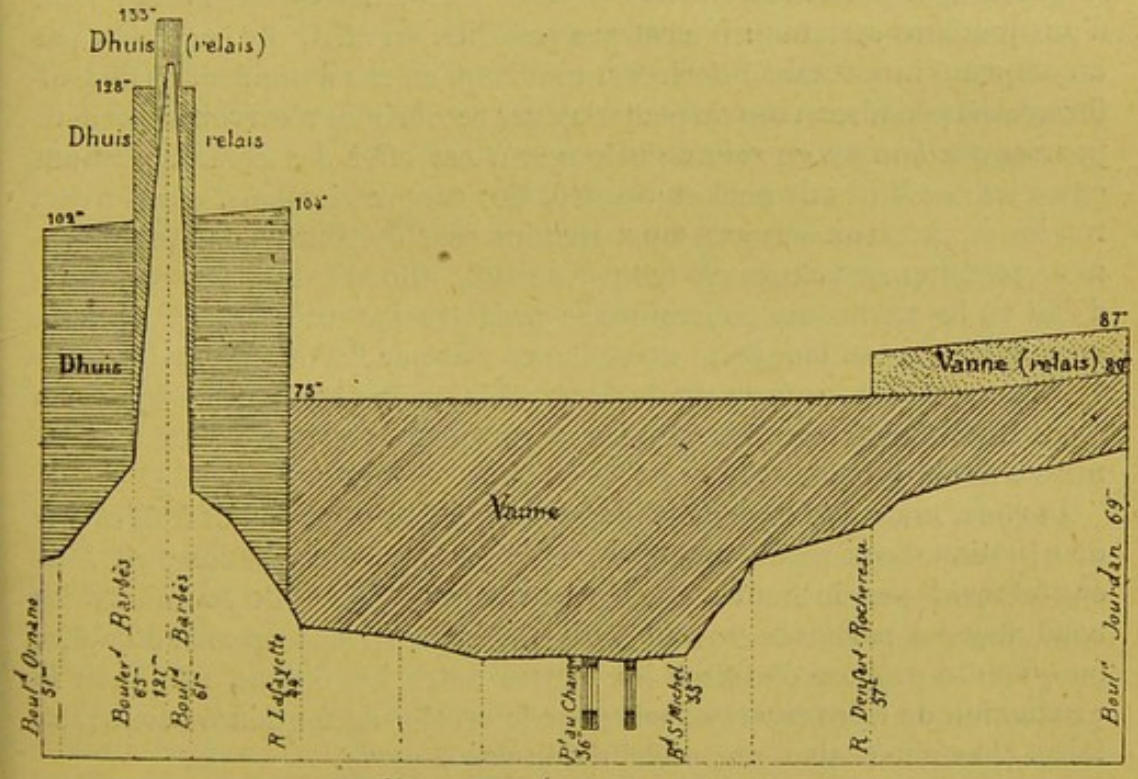


Fig. 267. — Paris. Étages du service privé.

d'alimentation qu'il faudrait écarter si l'on voulait établir une distribu-

tion d'eau unique. Le premier cas se présente notamment dans une alimentation par machines, puisqu'on fait une économie de force motrice en n'élevant l'eau qu'à la hauteur strictement nécessaire pour les diverses parties du service, soit qu'on ait recours pour les quartiers hauts à des *machines de relais*, soit qu'on dispose d'un système mécanique capable d'élever l'eau à un étage ou à l'autre suivant les besoins. Le second cas se rencontre dans les villes où l'eau est amenée par un aqueduc aboutissant à une altitude convenable pour desservir les parties basses mais non les autres : des pompes spéciales reprennent alors une fraction du débit de l'aqueduc et la refoulent dans un réservoir supérieur ; c'est ce qui a été fait à Paris pour les eaux de l'Ourcq et de la Dhuis.

Les exemples de distributions d'eau divisées par zones ou par étages sont excessivement nombreux. Outre Paris et Londres citons entre autres : en France, Lyon, Lille, Le Havre, Marseille, etc. ; et à l'étranger, Liverpool, Manchester, Dublin, Glasgow, Edimbourg, Aberdeen, Gênes, Zurich, etc., etc.

Il convient évidemment de n'admettre une division de cette nature que s'il en doit résulter un avantage marqué ; sinon il vaudrait mieux ne pas s'imposer une augmentation de dépenses de premier établissement et d'entretien, en même temps qu'une complication qui ne serait point suffisamment justifiée.

Toutes les fois qu'une distribution d'eau est divisée en étages, il faut se préoccuper particulièrement d'assurer l'alimentation de l'étage haut d'une manière certaine : il n'est pas possible, en effet, d'y suppléer par un emprunt aux étages inférieurs, tandis qu'en cas d'accident ou d'insuffisance dans le réseau bas on peut toujours recourir au réservoir supérieur, pourvu que l'on ait eu soin de ménager à cet effet des communications entre les conduites de part et d'autre. Ces communications, qui peuvent rendre de précieux services dans certains cas, doivent d'ailleurs être tenues parfaitement closes en temps normal, afin d'éviter les mélanges d'eau ou les pertes qui pourraient se produire par écoulement du haut vers le bas ; on en facilite la surveillance soit par l'addition d'indicateurs spéciaux, soit en les formant de deux robinets accolés, entre lesquels on place un petit purgeur maintenu constamment ouvert et qui ne doit jamais donner d'eau.

Parfois, mais très rarement, il arrive que l'on soit conduit à faire une distribution d'eau par étages distincts, bien que l'alimentation soit faite entièrement par le haut : c'est lorsqu'on veut éviter de soumettre les conduites des parties basses du réseau à des pressions trop considérables, ou qu'on se propose d'utiliser les chutes entre les étages, soit pour la production de force motrice, soit pour le service de fontaines monumentales. On obtient ainsi une distribution par *cascade*.

§ 2.

TRACÉ DE LA CANALISATION.

281. Généralités. — Le tracé de la canalisation à établir dans une ville pour la distribution de l'eau est toujours plus ou moins indéterminé ; le problème est en général susceptible de recevoir plusieurs solutions. Si donc on veut obtenir avec la moindre dépense le maximum d'effet utile, il faut se livrer à une étude comparative et détaillée qui demande beaucoup de soin et d'attention.

Le tracé dépend d'ailleurs d'une foule de circonstances, parmi lesquelles on peut citer le relief du terrain, la disposition des voies publiques, l'agglomération plus ou moins grande des habitants, le mode adopté pour la distribution et la délivrance de l'eau, la position des réservoirs, les précautions à prendre pour parer aux interruptions de service, etc. C'est par une série de tâtonnements, et en tenant compte de toutes ces circonstances, qu'on parvient à réaliser un tracé satisfaisant et rationnel.

Le *réseau* se compose toujours d'un certain nombre de *conduites maîtresses*, destinées à porter de grandes masses d'eau dans les diverses parties de la distribution, et qui forment comme un prolongement des réservoirs ; puis de *conduites secondaires* chargées de répartir ces masses d'eau entre les *conduites de service* sur lesquelles se font les prises des branchements qui aboutissent aux orifices de puisage. Les diamètres des conduites maîtresses et des conduites secondaires dépendent de l'importance des fractions correspondantes du réseau ; quant à ceux des conduites de service, ils sont choisis de manière à leur permettre de desservir largement les divers orifices, même en cas de puisage exceptionnel et d'incendie ; et, à cet effet, on descend rarement au-dessous de $0^m,06$, $0^m,08$ ou $0^m,10$ de diamètre, alors que souvent un diamètre de $0^m,03$ ou $0^m,04$ assurerait convenablement le service normal.

« Rien ne se prête, dit Dupuit, à des additions ou à des modifications comme un réseau de conduites. » C'est là une conséquence naturelle de cette indétermination que nous avons signalée plus haut, et il en résulte qu'il n'y a pas lieu de se préoccuper outre mesure lors de l'établissement d'une canalisation de ses développements ultérieurs ; il suffira de la recouper par quelques nouvelles conduites maîtresses pour en augmenter considérablement le débit.

L'étude à faire pour le tracé d'un réseau peut être grandement facilitée par une représentation graphique des conduites, qui consiste à les indiquer sur un plan au moyen de traits de largeur proportionnelle aux débits. Des profils en long, avec la figuration des lignes de charge, com-

plètent heureusement cette représentation, et permettent de reconnaître si les niveaux piézométriques seront partout suffisants pour assurer un bon service ; nulle part les lignes de charge ne doivent descendre au-dessous du niveau du sol, car tout puisage deviendrait impossible et rien ne révélerait au dehors la présence des fuites ; encore moins doivent-elles passer au-dessous de la ligne de pose car il n'y aurait plus d'écoulement.

Le plan et le profil des conduites arrêtés, il reste à compléter l'étude générale de l'ensemble pour la fixation des points où doivent être placés les appareils accessoires : *robinets de décharge* pour la vidange et le nettoyage des biefs, *robinets de prise* à l'origine des branchements, *robinets d'arrêt* pour la division des conduites en tronçons susceptibles d'être visités, réparés ou modifiés isolément, *ventouses* pour l'échappement de l'air, *trous d'homme* pour l'introduction des ouvriers dans l'intérieur des conduites de très gros diamètres. Il va de soi que tout point bas doit être muni d'une décharge, tout point haut d'une ventouse.

282. Réseaux ramifiés. — Deux dispositions différentes peuvent être adoptées pour le tracé des canalisations d'eau : tantôt le réseau est composé d'un tronc commun se divisant en plusieurs branches, qui se ramifient à leur tour ; les diamètres vont alors en diminuant régulièrement de l'origine aux extrémités, et l'eau circule toujours dans le même sens ; tantôt il est formé de mailles, ou circuits fermés, où l'écoulement se produit au contraire dans un sens ou dans l'autre, suivant les cas.

La première de ces dispositions, celle des *réseaux ramifiés*, paraît au premier abord absolument rationnelle. Rien n'est plus facile que d'y suivre la marche de l'eau, ce qui simplifie la surveillance de l'exploitation ; et, comme il est possible de déterminer par des calculs fort simples le diamètre de chaque conduite d'après le service qu'on lui demande, on peut croire que ce type de tracé est celui qui comporte le plus faible développement de conduites et la moindre dépense.

Mais, en pratique, les réseaux ramifiés présentent certains inconvénients qui expliquent la défaveur dont ils sont aujourd'hui l'objet. Ainsi les interruptions de service, qui résultent de la rupture d'un tuyau ou du déboîtement d'un joint, y prennent facilement une certaine gravité, puisqu'il faut arrêter l'eau en amont, et en priver, par suite, tout ce qui est en aval pendant la durée de la réparation. Dupuit admettait, il est vrai, que ces interruptions ne sont pas trop redoutables, parce que, dans les villes où on installe une distribution d'eau, les anciens modes d'alimentation subsistent, et peuvent servir à y suppléer au besoin ; mais ce serait une erreur de croire qu'il en soit ainsi pendant longtemps, peu à peu on supprime les citernes, on comble les puits, on n'en établit pas dans les maisons neuves, et le moment ne tarde pas à venir où la moindre interruption du service d'eau est une cause de gêne sérieuse qui provoque des réclamations légitimes. D'autre part, dans un réseau ramifié, les conduites de service se terminent en cul-de-sac, de sorte que

l'eau est stagnante vers l'extrémité, et que les dépôts s'y accumulent ; souvent des végétations s'y développent, des mollusques s'y installent, envahissant peu à peu les branchements voisins, si l'on ne prend pas soin de faire des nettoyages fréquents, de pratiquer des chasses, pour lesquelles il est nécessaire de prendre des dispositions spéciales.

Ajoutons que l'économie de premier établissement réalisable par ce système est plus apparente que réelle : car, si la longueur totale des conduites est un peu moindre qu'avec les circuits fermés, leur section doit souvent être plus considérable, puisqu'un tuyau alimenté à une de ses extrémités seulement débite évidemment moins d'eau que celui qui la reçoit des deux côtés à la fois.

283. Réseaux maillés. — L'autre disposition substitue au tronc et aux branches des réseaux ramifiés des conduites périphériques dites *de ceinture* et des conduites transversales, sur lesquelles s'embranchent par leur deux extrémités les conduites de service, de manière que l'ensemble forme un *réseau maillé,* dans lequel l'écoulement de l'eau n'a pas de sens déterminé et peut se produire, soit dans l'une soit dans l'autre direction, suivant les variations de la consommation et les pertes de charge différentes qui en résultent.

La liberté de circulation ainsi donnée à l'eau dans toute l'étendue du réseau a pour conséquence une meilleure répartition des pressions au grand profit de l'exploitant et du consommateur ; et la sécurité du service est considérablement accrue, puisqu'une conduite qui cesse d'être alimentée d'un côté, par suite d'accident ou de réparation, continue à l'être de l'autre sans difficulté. Point de stagnation et par suite point de dépôts, de végétations, de mollusques ; les chasses et les nettoyages périodiques ne sont donc plus nécessaires, sauf dans quelques cas particuliers et lorsque la présence de coudes brusques ou d'étranglements détermine des remous, toujours localisés d'ailleurs et sans importance réelle.

Les réseaux maillés se prêtent moins aisément au calcul que les réseaux ramifiés, car ils n'est guère possible de se rendre compte à priori de la direction que suivra l'eau à chaque instant et suivant les besoins dans l'enchevêtrement des conduites qui s'entre-croisent ; et, pour déterminer les diamètres, il faut faire à ce sujet des hypothèses qui peuvent ne pas correspondre à la réalité. Mais il suffit de choisir ces hypothèses de manière à se placer dans le cas le plus défavorable pour être assuré que ces résultats seront tels qu'il n'y ait pas de mécomptes à redouter.

La canalisation de l'eau de la Vanne à Paris (*fig.* 268) se rattache à ce type : elle se compose essentiellement d'une conduite circulaire contournant le périmètre à desservir, et de trois grosses conduites transversales, rayonnant à partir d'un même point voisin du réservoir, qui viennent renforcer l'alimentation de la conduite circulaire en divers points de sa longueur et recoupent sur leur parcours toutes les conduites secondaires.

Le schema de la canalisation de l'eau de Seine à Paris (*fig.* 269) est de forme différente, parce que l'alimentation du réseau se fait en trois

Fig. 268.

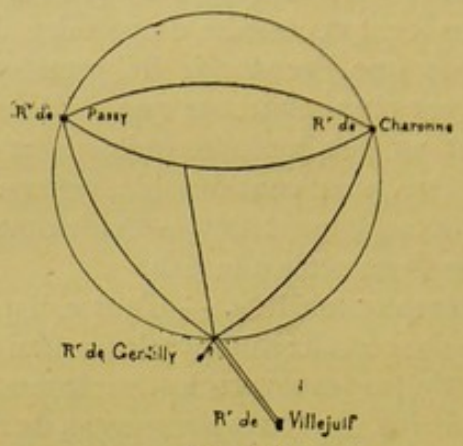


Fig. 269.

points et non plus en un seul comme pour la Vanne : les conduites de ceinture forment un triangle curviligne dont les sommets sont reliés entre eux par des conduites transversales.

284. Détermination des diamètres. — On a vu précédemment (art. 226) que le diamètre d'une conduite de refoulement est indéterminé, puisque, pour un même débit, il peut être plus ou moins grand suivant l'excès de force demandé à la machine pour vaincre le frottement. Pour les conduites de distribution, on ne dispose plus d'une force variable, le mouvement de l'eau devant se produire en vertu de la différence de niveau qui existe entre le réservoir et le point d'arrivée ; l'indétermination n'est donc plus la même, et, si l'on se donne le débit à obtenir en un point donné avec une conduite d'une certaine longueur, le diamètre de cette conduite s'en déduit et peut être calculé au moyen des formules de l'écoulement de l'eau ou des tables dressées pour l'application de ces formules. Mais il convient d'observer que la vitesse correspondante peut être ou trop faible — ce qui aurait le double inconvénient de provoquer des dépôts et d'augmenter les dépenses de premier établissement — ou trop forte — et la force vive qui en résulterait pourrait donner lieu à des coups de bélier redoutables — de sorte qu'il faut procéder par voie de tâtonnement, et rechercher la solution qui répond le mieux aux conditions du problème, tout en maintenant la vitesse de l'écoulement dans des limites admissibles, entre $0^m,60$ et 1 mètre par exemple. D'après M. Fanning, la vitesse pourrait être d'autant plus grande que le diamètre est plus grand lui-même, et le maximum devrait varier de $0^m,75$ par seconde pour les plus petites conduites à 2 mètres pour les plus grosses.

Une conduite qui fait en route un service uniforme devrait en théorie recevoir une section uniformément décroissante : on conçoit qu'une semblable disposition ne serait guère pratique, et l'on se contente de s'en

rapprocher, en composant la conduite de plusieurs tronçons, dont les diamètres vont en diminuant comme les anneaux successifs d'une lunette d'approche. Souvent même la conduite reçoit d'un bout à l'autre le même diamètre ; elle peut alors faire, outre le service en route, un service d'extrémité, ce qui est parfois utile dans les réseaux ramifiés et devient nécessaire dans les canalisations à circuits fermés. Il y a d'ailleurs avantage à ne pas trop multiplier les diamètres, de manière à simplifier la fabrication et l'approvisionnement des tuyaux ; et, dans tous les pays, on a soin de ne pas s'écarter de la série des types usités, à laquelle on emprunte en chaque cas celui qui répond le mieux aux indications du calcul.

Le rôle des diverses conduites dans une canalisation d'eau est généralement très différent du cas simple qui vient d'être examiné : le débit, loin d'y être uniforme, est exposé à des variations continuelles, le sens de l'écoulement change lui-même si l'eau est fournie par plusieurs réservoirs ou si le réseau est composé de circuits fermés. Il serait difficile de soumettre à un calcul rigoureux des circonstances aussi complexes. Aussi se borne-t-on presque toujours en pratique à rechercher quel serait le diamètre minimum à donner aux conduites d'eau pour satisfaire aux besoins dans un cas défavorable, et à choisir un diamètre supérieur, de manière à se réserver une certaine marge, soit pour tenir compte des diminutions de section qui sont la conséquence des dépôts intérieurs, soit pour faire la part des pertes de charge supplémentaires, dues aux sinuosités du tracé, aux coudes et aux étranglements. Il ne faut pas s'exagérer d'ailleurs l'importance de ces pertes de charge supplémentaires : elles sont trop faibles en général pour qu'il y ait intérêt à les réduire par

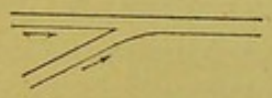


Fig. 270.

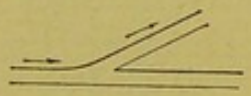


Fig. 271.

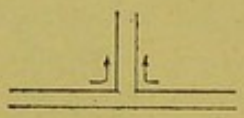


Fig. 272.

des raccordements tangentiels qui constituent des sujétions assez sérieuses. De semblables raccordements n'ont du reste pas de raison d'être dans les réseaux maillés, où l'écoulement se produit alternativement dans les deux sens, et les conduites qui font partie des réseaux de ce type s'embranchent d'ordinaire à angle droit.

Puis d'autres considérations interviennent. Ainsi, pour les conduites de service, on adopte généralement un diamètre déterminé, au-dessous duquel on s'impose de ne pas descendre, quand bien même il serait plus fort qu'il ne faudrait à la rigueur dans plus d'un cas, et souvent on donne aux conduites principales des dimensions trop grandes pour le service qui leur est demandé, en vue d'améliorer la jonction de deux parties du réseau, de renforcer l'alimentation ou la pression en quelque point, de mieux relier entre eux deux réservoirs, etc.

285. Emploi des formules et des tables. — On se sert d'ordinaire, en France, pour le calcul des conduites d'eau, soit de la formule de Prony, soit de celles de Darcy et Bazin, ou plutôt des tables qui ont été dressées au moyen de ces formules.

A l'étranger, où l'on a fait usage d'un grand nombre d'autres formules analogues, parmi lesquelles il convient de citer celles de Neville, Leslie, Blackwell, Jackson, Hawksley, Weissbach, etc., on y a également recours bien souvent, et l'on reconnaît qu'elles donnent des résultats suffisamment exacts pour les besoins de la pratique.

Les tables de Darcy distinguent deux cas, suivant que les tuyaux sont neufs ou depuis longtemps en service : les chiffres qu'elles donnent pour le premier cas n'ont qu'un intérêt relatif, puisque les tuyaux ne tardent généralement pas à être recouverts intérieurement d'un dépôt adhérent qui change les conditions de l'écoulement ; ceux qui correspondent au second cas sont assez bons pour les petits diamètres mais beaucoup trop forts pour les autres. La formule de Prony et les tables qu'elle a servi à établir donnent des résultats trop faibles pour les petites conduites, un peu forts pour les grosses, quoique plus exacts que

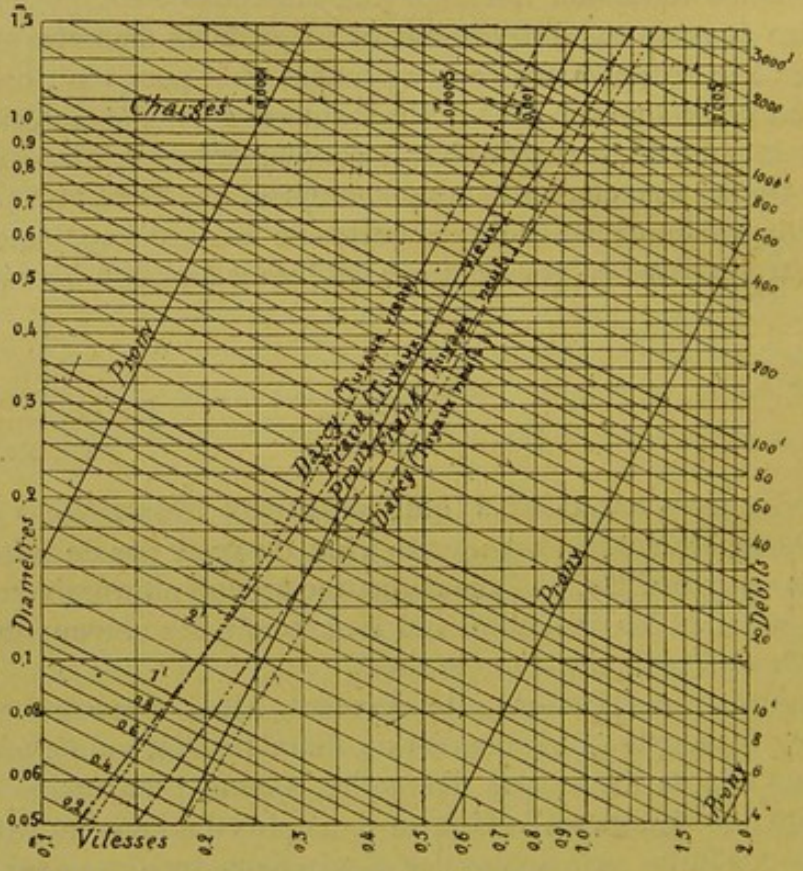


Fig. 273.

ceux fournis par les tables de Darcy, et très bons pour les diamètres moyens (entre 20 et 60 centimètres). Nous empruntons à un mémoire de

M. Frank, *privatdocent* à Munich [1], un tableau graphique établissant la comparaison entre ces formules qui y sont représentées par des lignes pleines (Prony) et pointillées (Darcy, tuyaux neufs et tuyaux depuis longtemps en service); deux autres lignes, tracées par M. Frank d'après des expériences récentes faites en Allemagne et applicables respectivement aux conduites neuves et aux conduites anciennes, paraissent se rapprocher plus de la réalité des faits que celles qui correspondent à la formule de Darcy où l'écart entre les deux cas est manifestement exagéré, et font ressortir d'une manière remarquable la supériorité de la formule de Prony pour les diamètres moyens.

Il ne faut jamais omettre dans les calculs la considération de la vitesse maxima qu'on se propose de ne pas dépasser, ni celle des variations diurnes du débit, très différentes suivant le mode de distribution et les allures du service, mais qui peuvent aisément atteindre 70 0/0 de la moyenne.

L'emploi des formules et des tables peut être considéré surtout comme un guide indispensable et sûr dans la série des tâtonnements, à entreprendre pour l'établissement d'un réseau, et qu'on doit poursuivre de proche en proche depuis les ouvrages d'alimentation jusqu'aux dernières conduites de service et aux orifices les plus éloignés.

§ 3.

TUYAUX DE CONDUITE

286. Matériaux employés à la confection des tuyaux. — Les conduites de distribution ne sont autre chose que des conduites forcées : pour les unes comme pour les autres, c'est la forme circulaire qui est la plus convenable, et les mêmes matériaux sont utilisés pour la confection des tuyaux dont elles sont composées. Les métaux, qui résistent bien à l'extension, conviennent particulièrement à cette fabrication, et le plomb, le fer, la fonte sont d'un usage courant ; mais on a recours aussi parfois à d'autres matériaux.

Le *bois*, par exemple, et en particulier le sapin, a été employé à diverses époques et dans divers pays pour les canalisations d'eau : à Londres, il y a des conduites en bois sur plus de 400 milles de longueur; à Détroit (États-Unis), il y en avait naguère 130 milles, et beaucoup de villes s'en servent encore en Amérique. Les conduites en bois, circulaires à l'intérieur, présentent extérieurement une section carrée ou ronde ; elles sont parfois renforcées par des armatures en fer ; et les

1. *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*, 11. 1886.

joints sont formés soit par la juxtaposition de deux abouts plans, soit par l'emboîtement de deux parties coniques. Les inconvénients du bois sont sa faible durée en général, son étanchéité imparfaite, le mauvais goût qu'il communique quelquefois à l'eau ; l'injection de matières antiseptiques, par laquelle on cherche à y remédier, peut être nuisible aux qualités de l'eau et coûte d'ailleurs assez cher.

Quoique peu pratique et fort dispendieux, l'emploi de tuyaux en *pierre* a été tenté quelquefois : il n'est pas besoin de remonter à l'antiquité pour en trouver des exemples. A Dresde le grès de la Suisse saxonne, à Prague le marbre ont servi à la confection de tuyaux pour la distribution de l'eau.

La *poterie* semble devoir être écartée à cause de sa faible résistance ; mais on fabrique aujourd'hui des grès vernissés qui supportent sans peine des pressions de plusieurs atmosphères et qui peuvent rendre des services dans certains cas spéciaux, notamment quand il s'agit d'écouler des eaux capables d'attaquer les métaux. A Mulhouse, à Lunéville, à Soissons on y a eu recours par économie pour la distribution d'eaux potables ordinaires. Les conduites en poterie, composées de tuyaux courts placés bout à bout, et dont les joints sont formés par des manchons fixés au ciment, présentent une grande rigidité et ne se prêtent nullement aux mouvements du sol; le plus petit tassement peut en déterminer la rupture.

Le *béton* de ciment, employé à l'établissement des aqueducs, a trouvé aussi des applications dans les distributions d'eau proprement dites ; la majeure partie de la canalisation de Nice est en béton, et les fabricants de ciment de Grenoble ont perfectionné et répandu ce genre de conduites, qui est assez économique et donne de bons résultats, quand les pressions ne sont pas trop fortes. Les tuyaux en béton sont moulés d'avance avec des abouts mâle et femelle formant un joint à emboîtement qu'on entoure d'un bourrelet de mortier. Ils constituent des conduites très rigides comme les tuyaux en poterie.

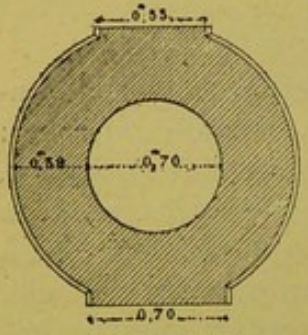


Fig. 274.

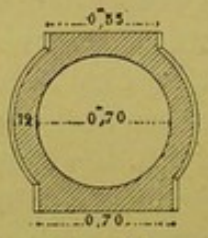


Fig. 275.

On a exécuté des tuyaux en *verre* ; et il n'est pas douteux que, si l'on arrivait à les produire à bon compte et à les relier entre eux par des joints résistants, ils ne tarderaient pas à être fort prisés à cause de leur inaltérabilité, de leur résistance et de leur grande durée.

On en a fait aussi en *asphalte,* ou plus exactement en papier grossier plusieurs fois enroulé et revêtu de part et d'autre d'un enduit de bitume qui forme à lui seul à peu près les deux tiers de l'épaisseur totale : des

manchons ou bagues en fer servent de couvre-joints et se fixent au moyen d'un mastic bitumineux ou de caoutchouc.

Le *plomb*, dont l'emploi remonte à une haute antiquité, et qui se prête mal à cause de sa faible résistance et de son prix élevé à la fabrication des tuyaux de gros diamètre, est au contraire merveilleusement approprié à la confection des très petites conduites : aussi l'emploi en est-il tout à fait général pour les branchements et les distributions intérieures.

Le *fer* ou la *tôle* sert à la fabrication de tuyaux de faible épaisseur, légers et peu coûteux, d'un emploi assez commode, et s'assemblant aisément, mais qui ont le défaut d'être facilement attaqués et rongés par la rouille et de présenter par suite peu de chances de durée.

C'est la *fonte* en somme qui est la matière par excellence pour la confection des tuyaux de conduite : elle se moule fort bien et prend toutes les formes qu'on peut désirer ; sa résistance est assez grande, sa durée presque indéfinie : l'eau ne l'attaque que très rarement. Aussi l'emploi de la fonte pour les canalisations d'eau, pour les conduites publiques de tous diamètres, à l'exclusion des seuls branchements, est-il la règle générale : et l'on peut dire de tous les autres matériaux que nous venons de passer en revue qu'ils sont employés au même usage dans des cas relativement rares, et la plupart, sauf le fer, presque à l'état d'exception.

287. Fabrication des tuyaux de fonte. — Les tuyaux de fonte sont obtenus généralement en *deuxième fusion :* les fontes convenablement choisies pour donner par leur mélange un métal résistant, point aigre ni cassant, sont portées au cubilot, d'où la masse en fusion est conduite au moulage. Les moules étaient autrefois disposés horizontalement, et il en résultait souvent des différences d'épaisseur fâcheuses, par suite de l'intervention de la pesanteur qui amenait la flexion du noyau ; on a réalisé un progrès considérable en les plaçant verticalement dans des *fosses* suffisamment profondes. Chaque fosse, oblongue ou circulaire, contient un certain nombre de châssis en fonte, dans lesquels, après y avoir introduit le *modèle* qui reproduit la forme extérieure du tuyau, on foule le sable de moulage soit à la main soit mécaniquement ; on retire ensuite le modèle et l'on produit la dessiccation du sable en faisant passer au-dessous du châssis ouvert à ses deux extrémités et formant une sorte de cheminée, un petit foyer mobile ou les gaz perdus d'un haut fourneau ; il ne reste plus qu'à mettre en place le *noyau* qui affecte la forme de l'intérieur du tuyau, et à couler la fonte dans l'espace annulaire compris entre le noyau et le *moule*.

Cette fabrication réclame des soins tout particuliers : il faut des précautions multiples pour que les surfaces soient bien dressées, l'épaisseur régulière, la fonte homogène, exempte de bulles, de trous, de craquelures ; le séchage insuffisant du sable, un démoulage trop rapide, un refroidissement brusque suffit pour déterminer des défauts qui deviennent plus tard des causes de rupture. Une précision absolue et mathéma-

tique n'est d'ailleurs pas réalisable à cause du *retrait* de la fonte pendant le refroidissement et des modifications qui en résultent : il est d'usage d'accorder une légère tolérance pour tenir compte de cet effet dans la mesure du nécessaire. Le fût du tuyau doit présenter d'autre part une faible conicité, qui, si peu prononcée qu'elle soit, a pour effet de faciliter l'enlèvement du modèle.

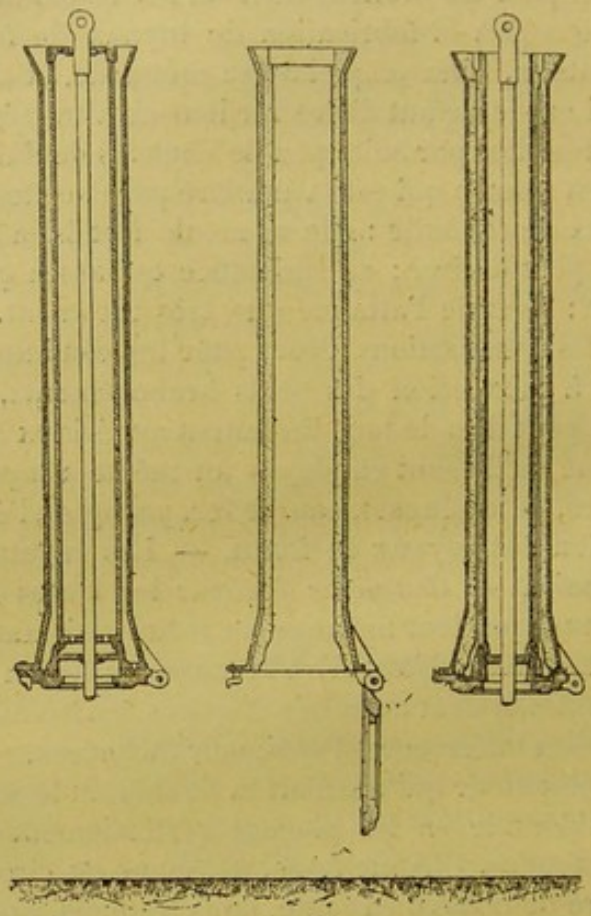


Fig. 276.

Les pièces, autres que les tuyaux droits, sont fabriquées par les procédés ordinaires de confection des objets en fonte moulée. Ces procédés donnant des résultats moins certains, on exige presque toujours pour les *pièces de raccord* un surcroît d'épaisseur, afin d'avoir néanmoins la même sécurité.

La production de tuyaux en fonte de toutes formes et de tous diamètres exige un grand emplacement et un matériel considérable ; elle ne peut être entreprise par suite que par les usines d'une certaine importance.

288. Dimensions des tuyaux de fonte. — Les progrès de l'industrie métallurgique ont permis de varier dans des limites très étendues les dimensions des tuyaux de fonte : on fabrique couramment aujourd'hui des tuyaux de 4 mètres de longueur utile et de 0^m, 80, 1 mètre, 1^m,10, 1^m,30

de diamètre intérieur, pesant jusqu'à 3.500 kilogrammes, aussi bien que des tuyaux de $0^m,06$, $0^m,054$, $0^m,040$ et $0^m,030$ de diamètre intérieur et de 2 mètres de longueur utile, dont le poids descend à 12 kilogrammes.

Chaque usine, pour ne point trop multiplier les modèles, adopte une série de types dont elle évite de s'écarter en général. Nous donnons aux annexes les types du service municipal des eaux de Paris, qui sont maintenant admis par toutes les usines françaises. Les séries des usines anglaises, allemandes ou américaines, comprennent des types analogues, et les dimensions mêmes diffèrent peu, au moins pour les pressions ordinaires et les diamètres courants.

L'épaisseur des tuyaux se calcule au moyen de formules empiriques par lesquelles, en admettant que la résistance de la fonte à la rupture par tension soit de 12 à 14 millions de kilogrammes par mètre carré, on cherche à se tenir suffisamment loin de cette limite. Si l'on prend le plus petit des deux chiffres précédents et qu'on se propose de ne pas dépasser le quart de la charge de rupture, on peut se servir de la formule

$$e = 0{,}00016\ DH$$

dans laquelle l'épaisseur e est en fonction du diamètre intérieur D et de la pression statique H exprimée en mètres d'eau; mais, au chiffre ainsi obtenu, on a soin d'ajouter une constante, afin de tenir compte soit des effets dynamiques auxquels la conduite sera exposée en cas d'arrêt ou d'ouverture brusque des robinets et appareils, soit de la résistance supplémentaire que doit offrir le tuyau pour résister aux chocs pendant le transport, aux surcharges accidentelles, etc., de sorte que la formule complète devient :

$$e = K + 0{,}00016\ DH.$$

Enfin, pour plus de sécurité encore, on a soin de donner à H une valeur supérieure à la pression réelle, que l'on suppose augmentée de 10 ou de 20 mètres. D'Aubuisson, à Toulouse, avait adopté la formule : $e = 0{,}010 + 0{,}015$ D pour des pressions modérées; Genieys donne la suivante : $e = 0{,}010 + 0{,}007$ D; la plupart des types de Paris ont des épaisseurs correspondant à la formule : $e = 0{,}008 + 0{,}016$ D et sont essayés à 15 atmosphères; à l'étranger, on fait usage de formules analogues dues à Wickstead, Lamé, Rankine, Redtenbacher, Latham, Meigs, Weissbach, Hawksley, etc. La représentation graphique de l'une quelconque des formules que nous venons de donner étant une ligne droite, pour une pression donnée, il suffit de connaître deux termes d'une série

1. König-Poppe donne des formules analogues pour calculer l'épaisseur des tuyaux de conduite fabriqués avec d'autres matériaux :

Fer.....	: 0,003 + 0,0009 DH	Poterie..	: 0,012 + 0,005 DH
Plomb..	: 0,0052 + 0,0024 DH	Ciment..	: 0,045 + 0,054 DH
Cuivre..	: 0,004 + 0,0015 DH	Bois....	: 0,027 + 0,033 DH
Asphalte	: 0,010 + 0,004 DH	Pierre..	: 0,030 + 0,037 DH

pour en déduire tous les autres : on porte sur une ligne horizontale et comme abscisses des longueurs proportionnelles aux diamètres, les deux épaisseurs connues donnent deux ordonnées dont il suffit de joindre les extrémités pour obtenir la ligne droite qui permet de déterminer toutes les autres.

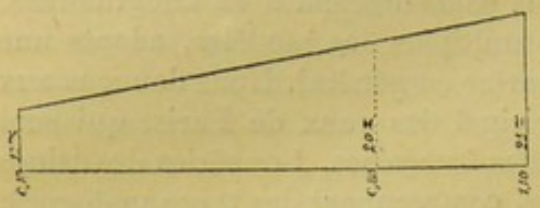


Fig. 277.

L'épaisseur des tuyaux augmentant avec leur section, le poids au mètre courant croît plus rapidement que les diamètres ; il en est de même du prix de fourniture. Mais comme, inversement, le prix de pose s'élève moins vite, il en résulte une sorte de compensation, si bien que, suivant une remarque de Dupuit, confirmée d'ailleurs par l'expérience, les prix au mètre courant des tuyaux de fonte mis en place sont à peu près proportionnels aux diamètres.

289. Réception et épreuve des tuyaux de fonte. — Pour s'assurer de la qualité de la fonte et de la bonne fabrication des tuyaux, il est d'usage d'exercer une surveillance dans les usines et de procéder à des essais par l'intermédiaire d'*agents réceptionnaires* spéciaux.

Ces agents doivent veiller à la régularité des mélanges, assister aux coulées, faire mouler de temps à autre des *barreaux* destinés à être soumis à des essais au choc ou à la traction, etc. Ils font *sonner* les tuyaux au marteau : une oreille exercée perçoit en effet un son très différent si la fonte est pleine et homogène ou si elle présente des fêlures ou craquelures. Ils vérifient toutes les dimensions, ce qui ne présente aucune difficulté pour les longueurs, les diamètres, etc., mais demande pour les épaisseurs un examen long et minutieux au moyen de compas spéciaux d'un maniement assez malaisé, à moins qu'on ne se contente, comme on le fait généralement depuis que les tuyaux sont coulés debout, d'en constater le poids, qui doit être supérieur ou au moins égal à un minimum déterminé dans chaque cas.

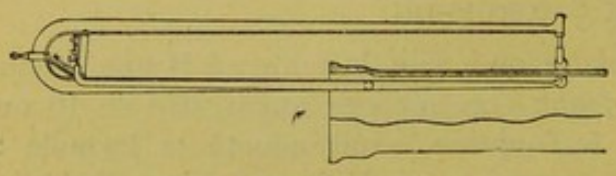


Fig. 278.

Ils président enfin à l'épreuve pratique, qui consiste à remplir d'eau chaque tuyau et à y produire la pression maxima à laquelle il devra résister. On emploie universellement pour cette épreuve une machine fort simple (*fig.* 279), composée de deux plateaux verticaux, dont l'un est fixe et l'autre mobile, et entre lesquels on assujettit le tuyau à essayer, placé horizontalement ; un conduit aboutissant au plateau fixe sert à remplir le tuyau d'eau, et une pompe de compression ou un accumulateur à y élever la pression, jusqu'à ce que le manomètre indique la limite qu'on s'est proposé d'atteindre. Il ne doit se produire à ce moment

aucun écoulement d'eau à travers les parois du tuyau ni même de suintement, sans quoi il est rebuté. En Allemagne, on complète l'épreuve en frappant le tuyau au moment où il est soumis à la pression maxima, au moyen de marteaux d'un poids déterminé. On pourrait aussi produire artificiellement des coups de bélier, afin de s'assurer que la fonte est en état d'y résister. Quelquefois, pour abréger le temps de l'épreuve ou pour économiser l'eau, on introduit dans le tuyau un noyau en bois qui occupe la majeure partie du vide.

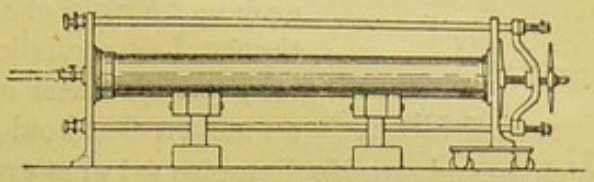


Fig. 279.

On ne peut malheureusement pas essayer à la *presse* les pièces de raccord et c'est un motif de plus pour leur donner, comme on l'a déjà indiqué plus haut, un surcroît d'épaisseur destiné à compenser cet inconvénient.

Après les essais, les vérifications et l'épreuve à la presse, les tuyaux sont le plus souvent recouverts d'un enduit de goudron ou de coaltar : on les porte d'abord dans un four chauffé à température convenable, puis on les plonge, au sortir du four, dans le bain de coaltar. L'enduit dont ils se trouvent ainsi revêtus les protège efficacement contre la rouille, soit avant l'emploi, soit même après la mise en service ; à l'intérieur, il empêche ou retarde l'action que l'eau pourrait produire sur la fonte, et, s'il se forme des dépôts, il les rend moins adhérents. Appliqué avant les essais, l'enduit aurait le grave inconvénient de masquer les défauts de la fonte ; aussi faut-il tenir la main à ce que les opérations aient toujours lieu dans l'ordre qui vient d'être indiqué.

On a proposé de remplacer la *coaltarisation* de la fonte par une sorte d'oxydation superficielle qui aurait pour effet de la protéger ensuite contre toute attaque par l'eau ou l'air humide ; mais ce procédé, beaucoup plus coûteux, ne s'est pas répandu jusqu'à présent, et le goudronnage est d'un emploi à peu près général.

290. Assemblage des tuyaux de fonte. Divers types de joints. — Les tuyaux de fonte étaient primitivement assemblés au moyen de *brides ;* ils étaient terminés de part et d'autre par une couronne plane percée de trous, et chaque *joint* était formé de deux de ces couronnes entre lesquelles on interposait une rondelle de cuir ou de plomb serrée par des boulons passés dans les trous. Ce mode d'assemblage est rigide et invariable, de sorte que tout changement de forme ou de longueur, dû, soit aux effets de la dilatation, soit aux tassements du sol, et dépassant la limite d'élasticité du métal, amènerait nécessairement une rupture, si l'on n'y parait par l'emploi des *compensateurs*, placés de distance en distance et permettant à la conduite de se prêter à des mouvements de faible amplitude. Ce palliatif s'est montré souvent insuffisant, et on a peu à peu substitué un mode d'assemblage moins rigide au joint à brides qui

n'est plus guère usité aujourd'hui que pour certains raccords et sur de faibles longueurs : dès lors, il est sans inconvénient, et présente au contraire l'avantage de se faire et de se défaire très aisément à froid et sans déplacement des pièces contiguës. Les rondelles de plomb, ordinairement planes, parfois aussi cannelées, sont serrées fortement au moyen des boulons qui sont en nombre d'autant plus grand que le diamètre est plus grand lui-même ; puis on achève le joint par un *matage* destiné à refouler le plomb et à réaliser une étanchéité parfaite.

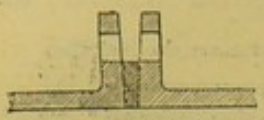


Fig. 280.

Le type d'assemblage le plus répandu aujourd'hui est celui connu sous le nom de *joint à emboîtement*. Il se compose de deux parties, mâle et femelle, pénétrant l'une dans l'autre, et laissant entre elles un intervalle que l'on remplit de corde goudronnée puis de plomb. Le bout mâle présente ordinairement, du côté extérieur, une bande saillante plate ou arrondie qui constitue le *cordon ;* le bout femelle ou *emboîtement* a une section en forme de tulipe et le bout mâle s'y engage sur une longueur de $0^m,08$ à $0^m,10$ environ. Dans un pareil joint rien ne s'oppose plus au jeu de la dilatation, la conduite s'allonge librement ; elle se prête aussi à de petits mouvements verticaux. Le plomb est coulé à chaud ; le fond de l'espace annulaire laissé entre les deux tuyaux emboîtés a été préalablement rempli au moyen de corde goudronnée enroulée en plusieurs torons et serrée au ciseau, de manière à laisser pour le plomb un espace libre de $0^m,04$ de longueur ; puis on enroule en avant de l'emboîtement un bourrelet d'argile laissant à la partie supérieure deux ou trois évents, le plomb fondu est versé rapidement par l'un de ces évents tandis que l'air emprisonné s'échappe par les autres jusqu'à ce que le métal venant refluer au dehors indique que le vide a été entièrement rempli. Il ne reste qu'à enlever le bourrelet d'argile, à ébarber le plomb et à le mater avec soin. Quand la pression intérieure est considérable, elle tend à repousser au dehors la corde et le plomb : pour empêcher cet effet on peut employer un collier de serrage ; mais on se contente le plus souvent de donner à l'emboîtement une forme intérieure telle que le plomb ne puisse glisser sans s'écraser, ce qui suppose alors un effort considérable ; en France, on ménage à l'intérieur de l'emboîtement une petite rainure à section demi-circu-

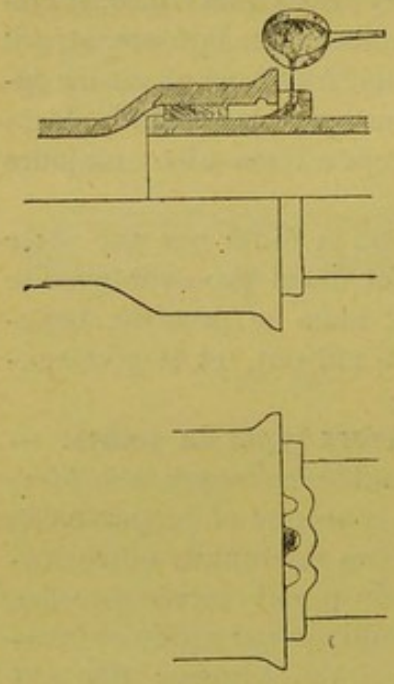


Fig. 281.

Fig. 282.

laire, dans laquelle le plomb vient former une saillie qui s'oppose aux glissements; ailleurs on en est venu à d'autres dispositions, de manière à donner par exemple à la couronne de plomb plus d'épaisseur vers l'intérieur du joint ou au milieu qu'à l'extrémité; quelquefois aussi l'em-

Fig. 283.

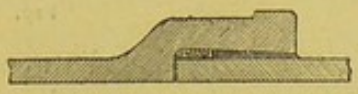


Fig. 284.

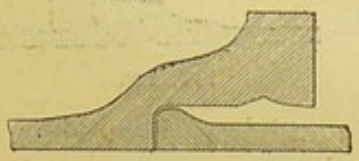


Fig. 285.

boîtement présente deux rainures successives. L'inconvénient du joint à emboîtement, c'est qu'il ne peut être démonté qu'à chaud, et que, les tuyaux pénétrant les uns dans les autres, il faut nécessairement en casser un d'abord avant de pouvoir déboîter les suivants.

On emploie à Paris, sur une très grande échelle, un mode d'assemblage des tuyaux de fonte qui est peu ou point utilisé ailleurs. C'est le *joint à bague*. Les tuyaux, absolument unis à leurs extrémités, sont des cylindres droits sans saillie aucune; on les place bout à bout mais en ayant soin de laisser entre eux un petit intervalle, quelques millimètres, pour permettre la dilatation; cet intervalle est masqué par un manchon étroit ou *bague,* qui n'a pas plus de $0^m,08$ ou $0^m,10$ de longueur, et qui laisse

Fig. 286.

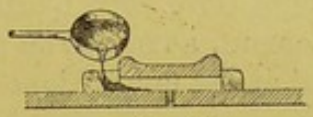


Fig. 287.

entre sa face intérieure et la paroi extérieure des tuyaux un espace annulaire destiné à être entièrement rempli de plomb. La confection du joint est fort simple; on garnit de glaise le petit intervalle laissé entre les deux tuyaux, on amène ensuite la bague et on la dispose au moyen de cales, on enroule de part et d'autre un bourrelet de glaise et on coule le plomb. Ce joint se prête comme le précédent aux effets de dilatation, mais il résiste moins bien aux tassements; moins recommandable que le joint à emboîtement pour les conduites en tranchée, il a une supériorité incontestable pour celles placées en galerie, et c'est ce qui l'a fait préférer à Paris où la pose des conduites d'eau en égout est devenue la règle : il se démonte, en effet, très aisément et à froid ; la bague légèrement conique du côté interne peut être chassée à coups de marteau, la bande de plomb se découpe sans peine, et toutes les pièces peuvent être successivement enlevées sans qu'il y ait à en briser aucune.

On a imaginé, en outre, un grand nombre de joints présentant tels ou tels avantages spéciaux, auxquels on peut recourir au besoin dans les circonstances exceptionnelles où le joint ordinaire à emboîtement ne serait pas d'une application facile, ou ne donnerait pas de résultats satis-

faisants. Les uns sont des *joints précis* obtenus par l'ajustement de pièces préalablement tournées : brides s'appliquant exactement l'une sur l'autre et entre lesquelles on interpose seulement une couche de mastic au mi-

Fig. 288.

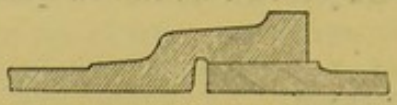


Fig. 289.

nium ou à la céruse ; bouts mâle et femelle dont l'un est introduit à force dans l'autre, etc., de manière à donner des assemblages tout à fait rigides et invariables. A ce type se rattache le *joint de Neyer*. Les autres, au contraire, sont mobiles ou *flexibles*, et trouvent des applications pour la pose des conduites formant siphons au travers du lit des cours d'eau, ou

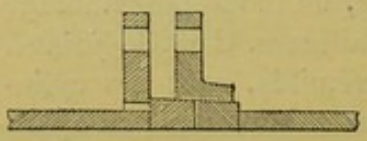


Fig. 290. — Joint de Neyer.

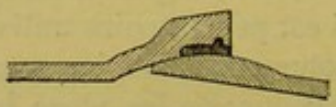


Fig. 291. — Joint Doré.

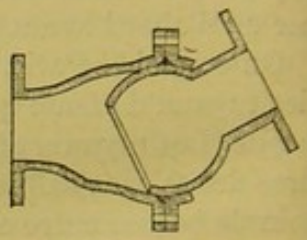


Fig. 292. — Joint Badois.

supportées par des ponts métalliques exposés à de continuelles vibrations ; tel est le *joint Doré*, sorte d'articulation à genou formée par un cordon et un emboîtement, auxquels on a donné une forme sphérique, ou le *joint Badois*, qui en est une variante, et dans lequel l'étanchéité est obtenue au moyen d'une bague en caoutchouc ; dans le *joint Ward et Craven* l'em-

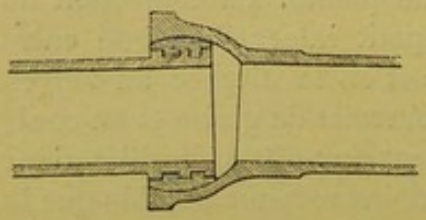


Fig. 293. — Joint Ward et Craven.

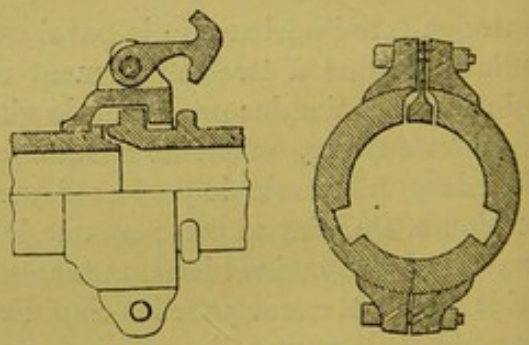


Fig. 294. — Joint hélicoïdal.

boîtement seul est sphérique, le bout mâle porte des rainures multiples destinées à retenir le plomb en cas de mouvement de l'emboîtement ; on peut en rapprocher le *joint hélicoïdal* formant une sorte de fermeture à baïonnette.

L'emploi du *plomb* pour la confection des joints des tuyaux en fonte est presque général : il a sur toutes les autres matières par lesquelles on a prétendu le remplacer un avantage considérable, celui de se prêter au *matage*, c'est-à-dire d'être assez ductile pour céder sous le ciseau et

venir remplir les vides qu'a pu laisser l'opération de la coulée ou qui se sont produits ultérieurement par l'effet de l'eau en pression. C'est sans succès, qu'on a tenté à maintes reprises d'y substituer le ciment ou des compositions diverses dans lesquelles entraient le soufre, la limaille de fer, la résine : la dépense est généralement moindre, mais l'étanchéité n'est pas aussi facile à obtenir, et tout joint où une fuite se produit est à refaire. A Munich, on a exécuté des joints à emboîtement, dans lesquels on a rempli l'espace annulaire au moyen de petits coins en bois, chassés régulièrement et avec force, puis recoupés au ciseau et recouverts d'un lut. Dans quelques gares, en Autriche, il a été fait usage d'un mode d'assemblage assez original où la corde goudronnée est employée seule : c'est le *joint Paulus,* qui consiste en un manchon, recouvrant les abouts des deux tuyaux, dans lequel on introduit par un trou *ad hoc* la corde goudronnée et que l'on fait tourner de manière à y enrouler la corde jusqu'à complet serrage et refus.

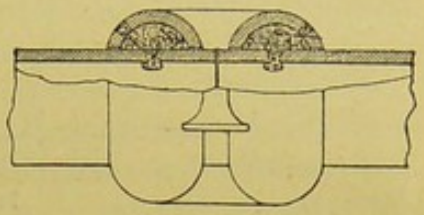


Fig. 295.

On reproche au plomb son prix élevé, l'emploi à chaud, l'obligation de recourir à des ouvriers spéciaux, exercés et habiles, enfin la nécessité de remplir le fond de l'emboîtement au moyen de corde goudronnée, qui donne parfois à l'eau un mauvais goût au début, et peut provoquer des obstructions quand un bout de corde pénétrant à l'intérieur de la conduite vient à être entraîné par l'eau : mais le prix du métal a beaucoup baissé dans ces derniers temps ; d'autre part, quand l'emploi à chaud est incommode, on peut préparer d'avance des bandes de plomb que l'on introduit à froid dans le joint et qui ne tardent pas à faire corps par le matage, et des soins attentifs ont raison des inconvénients attribués à la corde goudronnée.

C'est surtout en vue de rendre la pose plus facile et d'éviter l'inter-

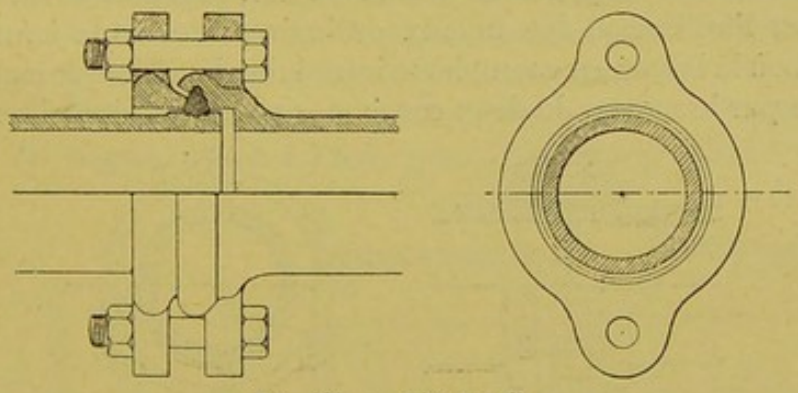


Fig. 296. — Joint Lavril.

vention des ouvriers plombiers que, depuis un certain nombre d'années, on a cherché à propager l'emploi du *caoutchouc* pour la confection des

joints des tuyaux de fonte ; le travail se fait alors à froid et très rapidement, et le démontage est rendu extrêmement commode. Les dispositions imaginées pour l'application du caoutchouc aux joints des tuyaux de conduite en fonte sont fort nombreuses. Les unes comportent l'emploi de tuyaux de forme spéciale : ainsi, dans le *joint Lavril,* assez répandu en France, l'emboîtement est pourvu d'oreilles, sur lesquelles viennent

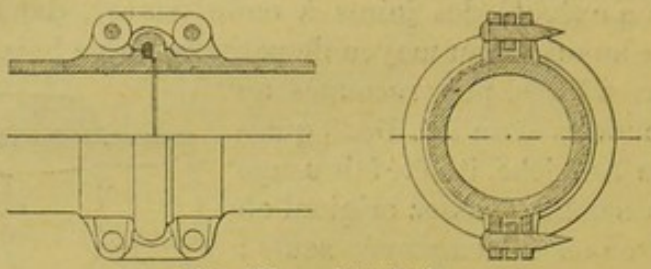


Fig. 297. — Joint Petit.

s'attacher des boulons servant au serrage de la contrebride, qui comprime l'anneau en caoutchouc, intercalé entre la paroi intérieure de l'emboîtement et le cordon du tuyau voisin ; dans le *joint Petit,* les abouts des deux tuyaux sont munis d'oreilles, que relient des pattes fixées sur les oreilles au moyen de broches ; dans le *joint Delperdange,* appliqué à

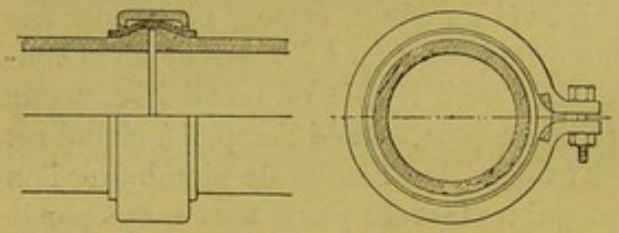


Fig. 298. — Joint Delperdange.

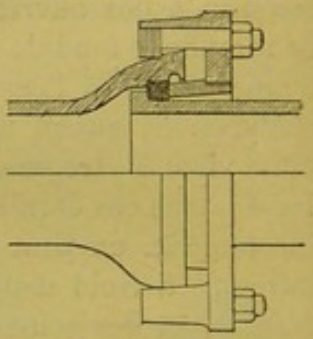


Fig. 299.

Lille, une bague en caoutchouc vient recouvrir deux cordons sur lesquels elle est serrée au moyen d'un collier en fer. Les autres, au contraire, permettent l'utilisation des tuyaux ordinaires : tel est le *joint Chappée (fig.* 299), où la bague en caoutchouc introduite dans chaque emboîtement est serrée par le moyen de deux couronnes spéciales, dont l'une pénètre

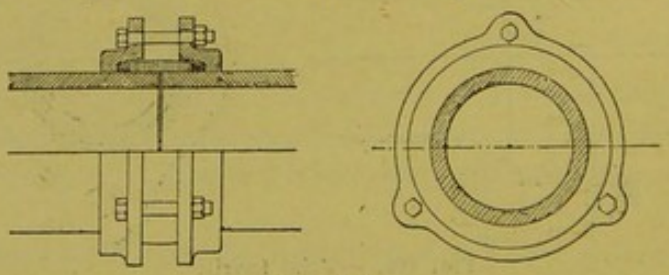


Fig. 300.

à l'intérieur de l'emboîtement et dont l'autre s'attache sur le rebord extérieur ; tel est aussi le joint construit par M. Gibault (*fig.* 300), qui s'ap-

plique aux tuyaux cylindriques unis employés à Paris pour l'assemblage à bague. Toutes ces dispositions donnent des résultats assez satisfaisants. Mais aucune ne se prête aussi aisément aux réparations ordinaires que les joints au plomb ; dès qu'une fuite se déclare, tout est à refaire, et on ne peut plus en avoir raison par un matage. D'autre part, l'économie qu'on invoque en faveur du caoutchouc est plus apparente que réelle ; l'emploi de tuyaux de forme spéciale ou de pièces additionnelles compense presque toujours la différence des prix de pose.

291. Pièces de raccord. — L'établissement des conduites d'eau suivant des lignes plus ou moins sinueuses et le raccordement des conduites entre elles ne peuvent se faire exclusivement au moyen des tuyaux droits, et supposent l'emploi d'un certain nombre de pièces diverses, destinées à former les parties courbes et angulaires ainsi que les embranchements, et qu'on désigne d'une manière générale sous le nom de *pièces de raccord*.

Quand, par exemple, dans la pose des conduites à emboîtement deux cordons viennent à se trouver en regard, il faut, pour les relier, employer une pièce à *double emboîtement* (*fig.* 301), ou, comme on le fait plus ordinairement, un *manchon* (*fig.* 302), c'est-à-dire un bout de cylindre droit dont le diamètre intérieur est égal à celui de l'emboîtement. Les manchons reçoivent une longueur qui est au moins le double de celle de l'emboîtement ; à Paris, cette longueur est fixée à $0^m,40$. Ils servent à raccorder

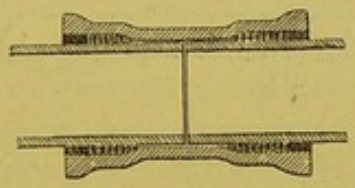


Fig. 301.

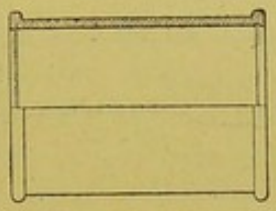


Fig. 302.

entre eux les tuyaux coupés de tous les types, et sont employés dans les conduites à brides comme compensateurs, dans les conduites à emboîtement comme mode de jonction des bouts de tuyau substitués lors de chaque réparation au tuyau qu'il a fallu casser. Parfois, on emploie des manchons en deux pièces demi-cylindriques reliées par des boulons et dits *manchons à coquille*. La bague, usitée à Paris pour l'assemblage des tuyaux unis

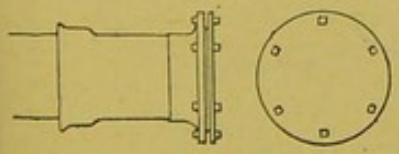


Fig. 303.

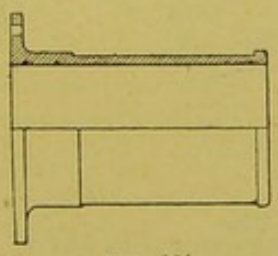


Fig. 304.

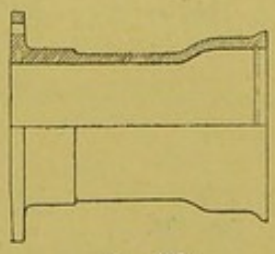


Fig. 305.

posés en galerie, n'est autre chose qu'un manchon de très faible longueur.

Toute conduite terminée en impasse doit être fermée à son extrémité par une *plaque pleine* en fonte ou en tôle, boulonnée sur l'about de la dernière pièce qui porte une bride percée de trous (*fig.* 303.) Cette pièce, appelée *bout d'extrémité*, est, suivant les cas, à cordon et à bride (*fig.* 304), ou à emboîtement et bride (*fig.* 305).

Pour passer d'un diamètre à un autre, il est nécessaire d'employer des pièces de réduction, de forme tronconique, dites *cônes,* qui peuvent recevoir d'ailleurs une longueur quelconque et se terminer par des cordons, des emboîtements ou des brides. Généralement les cônes sont assez courts,

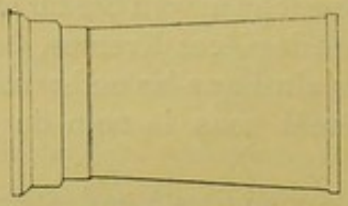


Fig. 306.

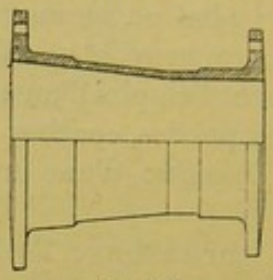


Fig. 307.

car la perte de charge à laquelle ils donnent lieu est insignifiante, et il n'y a pas d'intérêt à les allonger. Dans la distribution d'eau de Paris, on n'emploie que des cônes à deux brides de $0^{m},40$ de longueur (*fig.* 307),

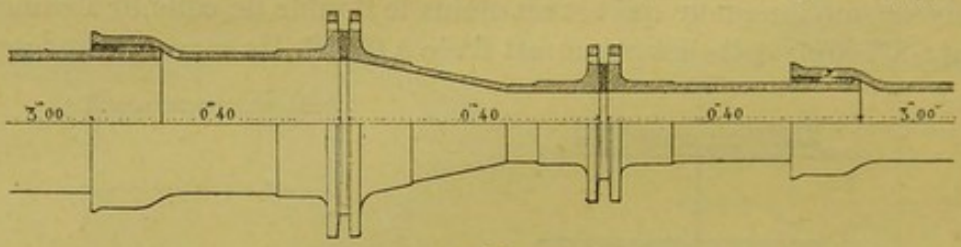


Fig. 308.

qui se raccordent avec les conduites de part et d'autre au moyen de bouts d'extrémité.

Les joints à bride et ceux à emboîtement se prêtent assez facilement

Fig. 309.

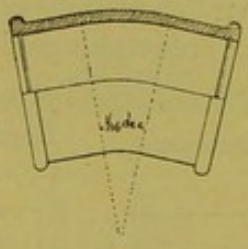


Fig. 310.

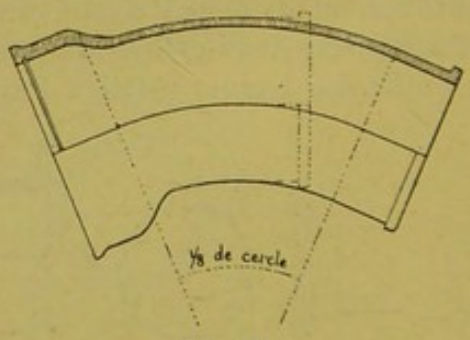


Fig. 311.

à un petit mouvement angulaire, permettant aux conduites de décrire des courbes de grand rayon ; il suffit d'employer avec les premiers des

rondelles biaises, et pour les autres de faire jouer un peu le bout droit à l'intérieur de l'emboîtement. Mais, lorsque le rayon des courbes devient

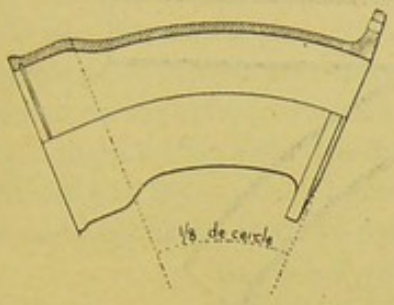


Fig. 312.

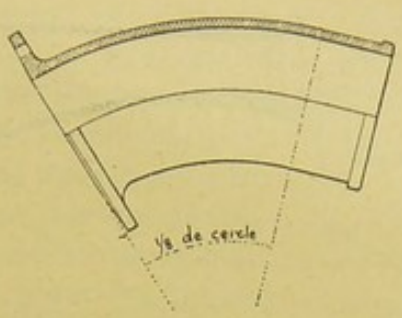


Fig. 313.

trop petit pour qu'on puisse se contenter de ce procédé, il faut des pièces spéciales, au moyen desquelles on obtient entre deux tuyaux consécutifs une déviation angulaire plus considérable. A Paris, on emploie d'abord la *bague biaise* (*fig.* 309), qui correspond à un angle de 3 à 9 degrés seulement, d'autant plus petit d'ailleurs que le diamètre de la conduite est plus grand ; puis le *manchon courbe* (*fig.* 310), dont l'angle est un seizième de cercle ou 22°5. Si l'on veut que la partie courbe décrive un arc plus allongé, on emploie des *coudes* au seizième ou au huitième, pièces courbes formées d'une portion de tore se terminant de part et d'autre par des bouts droits à cordon, à emboîtement ou à bride ; quelquefois aussi, mais plus rarement, et pour les petits diamètres seulement, des coudes au quart qui correspondent à un angle de 90°. L'axe du tore ou de la partie courbe est un arc de cercle, dont le rayon est fixé par l'album des types de la Ville de Paris à $0^m,50$, pour les tuyaux de petite dimension jusqu'à $0^m,25$, à $1^m,50$ pour les diamètres de $0^m,25$ à $0^m,80$, à 2 mètres pour ceux de 1 mètre et de $1^m,10$.

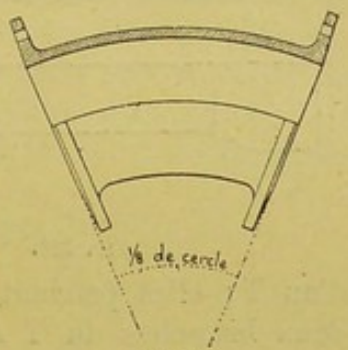


Fig 314.

Dans les réseaux où les conduites secondaires se raccordent tangentiellement aux conduites principales, on a recours pour les branchements à des pièces spéciales, tuyaux ou bouts de tuyaux munis d'une ou plusieurs *tubulures* courbes, dont la forme et les dimensions peuvent varier à l'infini. Mais, dans les réseaux où les branchements se font à angle

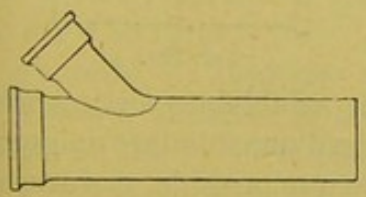


Fig. 315.

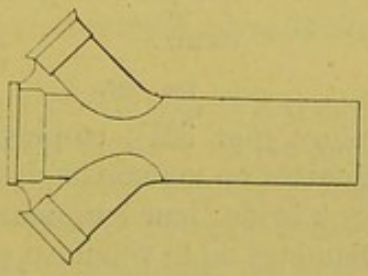


Fig. 316.

droit, ce qui est le cas le plus général au moins en France, une aussi grande variété n'est pas nécessaire, puisque les tubulures ne prennent

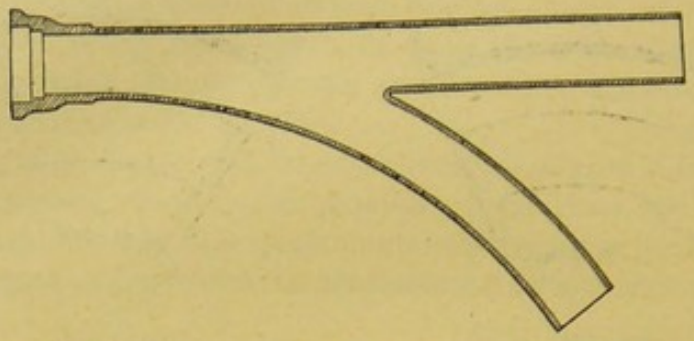


Fig. 317.

qu'une seule position, la position normale, par rapport aux bouts de tuyaux qui les portent, et que les pièces spéciales ont nécessairement la forme

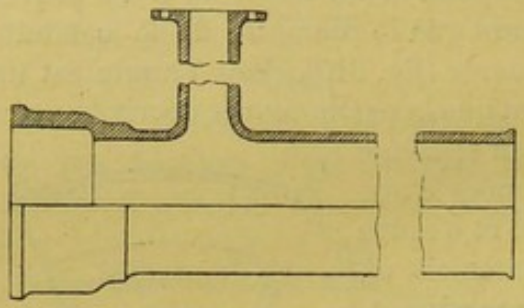


Fig. 318.

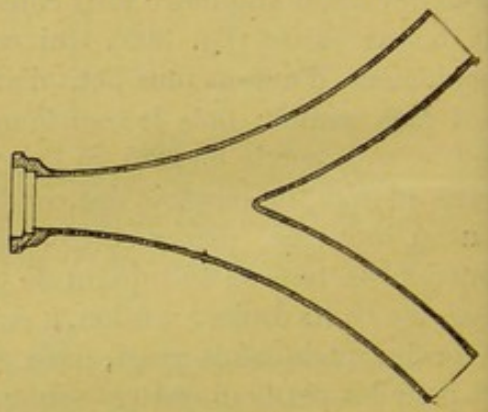


Fig. 319.

d'un T ; elles peuvent encore différer par les longueurs respectives des deux branches du T et par la nature de leurs abouts. Les *manchons à*

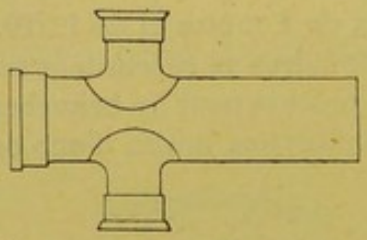


Fig. 320.

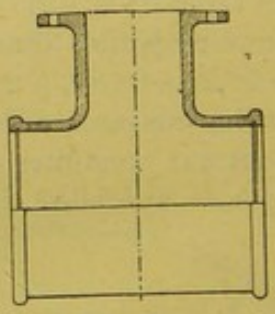


Fig. 321.

tubulure (*fig.* 321), employés à Paris, sont semblables aux manchons ordinaires ou manchons droits, sauf l'addition d'une tubulure unique toujours à bride ; leur longueur est aussi réduite que possible, et varie avec le diamètre de la tubulure sans descendre au-dessous de $0^{m},40$; la saillie de la tubulure, fixée à $0^{m},15$, a pour objet de faciliter la pose et le serrage des boulons. Quand la tubulure doit servir à la décharge d'une conduite, elle se place non plus horizontalement comme pour les embranche-

ments, mais verticalement au-dessous de la conduite de manière à en permettre la vidange complète ; si, par exception, l'emplacement dont on dispose ne se prête pas à cet arrangement, on emploie parfois des pièces un peu différentes où la génératrice inférieure de la tubulure se raccorde avec la génératrice inférieure du manchon et qu'on appelle *manchons à tubulure tangente* (*fig.* 322.) La forme des manchons à tubulure est peu favorable à la résistance, lorsque le diamètre de la tubulure devient égal à celui du manchon ; la pièce présente alors des parties aplaties qui peuvent céder sous une forte pression, surtout quand il s'agit du raccordement de très grosses conduites : aussi a-t-on étudié à Paris et appliqué quelquefois un type un peu différent, composé d'une sphère à trois tubulures, dont deux unies et une troisième à brides.

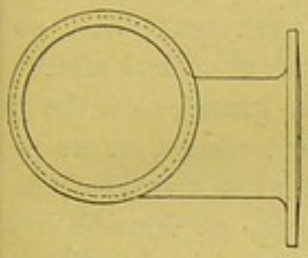
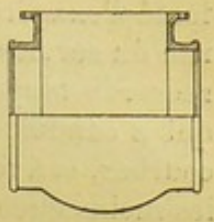


Fig. 322.



Plan

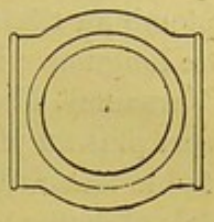


Fig. 323.

Aux carrefours des voies publiques, où plusieurs conduites d'eau viennent se croiser, on peut relier ces conduites entre elles par des manchons à plusieurs tubulures ; on peut aussi, comme cela se faisait souvent autrefois et se fait encore dans quelques villes, disposer des *boîtes de distribution,* sortes de caisses en fonte munies de tubulures, et dont

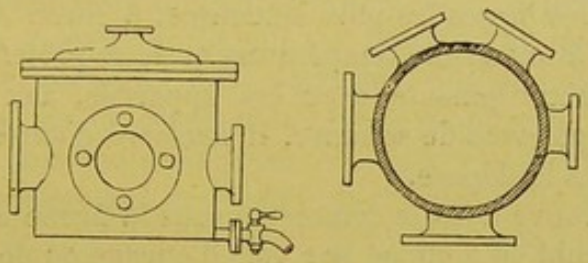


Fig. 324.

la partie supérieure est un peu surélévée, afin de recueillir l'air qui circule dans les conduites et d'en faciliter l'extraction. Mais, en général, on renonce à employer des pièces aussi compliquées, qui ne se prêtent pas à des modifications ultérieures, et qu'on ne remplace pas facilement en cas d'accident.

Au reste, la pratique a montré qu'il y a grand intérêt à restreindre autant que possible le nombre des pièces de raccord. Il est indispensable, en effet, pour la facilité de l'entretien, d'avoir toujours en magasin des rechanges pour tous les types, sans quoi la rupture d'une pièce pourrait entraîner quelquefois une longue interruption de service et prendre les proportions d'un désastre ; dès lors on conçoit que, si les modèles étaient multipliés outre mesure, il faudrait, pour constituer un approvisionnement suffisant, s'imposer des dépenses considérables et

donner aux *dépôts* un énorme développement. Il faut donc savoir se limiter et sacrifier de propos délibéré à la considération si importante de l'entretien certains petits avantages théoriques, qu'on serait parfois tenté d'exagérer sans profit véritable et au grand détriment de la sécurité du service. C'est là ce qui a fait renoncer, et à bien juste titre, aux raccords tangentiels, aux boîtes de distribution, etc ; c'est là aussi ce qui a conduit à fixer les angles et les rayons de courbure des pièces courbes, et à rechercher, pour les pièces de raccord en général, les formes les moins encombrantes et les poids les plus réduits.

292. Tuyaux de plomb. — Le plomb a été longtemps le seul métal qu'on sût employer à la confection des conduites d'eau : on coulait en plomb au siècle dernier des tuyaux de $0^m,216$ de diamètre et de 4 mètres de longueur ; il en a été employé de dimensions plus grandes encore à Versailles. Mais, depuis l'application de la fonte à cet usage, on ne se sert plus du plomb pour la fabrication des tuyaux de gros diamètre ; sa faible ténacité, 19 fois moindre que celle de la fonte, sa densité une fois et demie plus forte, son prix encore aujourd'hui trois fois plus élevé, le placent dans un état d'infériorité manifeste.

Au contraire, pour les canalisations de petit diamètre, pour les *branchements de prise* qui vont des conduites publiques aux maisons, pour les *colonnes montantes* qui relient ces branchements aux étages, pour les conduites de distribution intérieure, le plomb est encore employé de préférence à la fonte ou au fer, à cause de la facilité avec laquelle il se courbe et décrit les lignes les plus sinueuses, à cause aussi de sa propriété de fondre à une faible température et de se prêter par suite admirablement aux raccordements avec les appareils, aux modifications et aux réparations par voie de soudure. Il conserve d'autre part une certaine valeur après la dépose.

Le plomb se trouve dans le commerce sous la forme de *tuyaux continus*, obtenus à froid ou à chaud par voie d'étirage ou de compression, et livrés en *couronnes* de 10 mètres de longueur pour les petits diamètres et de longueur moindre pour les gros. Dans la fabrication courante, les diamètres varient en général, de $0^m,010$ et moins à $0^m,100$ ou $0^m,108$, et les épaisseurs réglementaires à Paris sont les suivantes :

	m	m
Diamètre de	0,010	0,003
—	0,013 à 0,016	0,004
—	0,020 à 0,025	0,006
—	0,027 et au-dessus	0,007

L'assemblage des tuyaux de plomb se fait soit à chaud et par voie de soudure, soit à froid au moyen de brides. Dans le premier cas, les abouts des deux tuyaux à réunir sont taillés en sifflet, bien décapés, enduits d'une composition liquide destinée à empêcher l'oxydation, puis empâtés dans une certaine quantité d'un alliage composé de 3 parties de plomb

et 5 d'étain, qui constitue la *soudure* et qui fond à la flamme de la lampe à alcool. Dans le second cas chacun des deux abouts est passé à travers une bride en fer, sur laquelle on le rabat au marteau en forme de *collet ;*

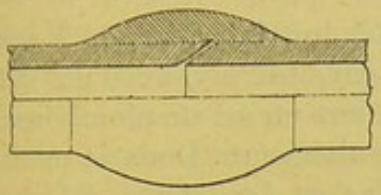


Fig. 325.

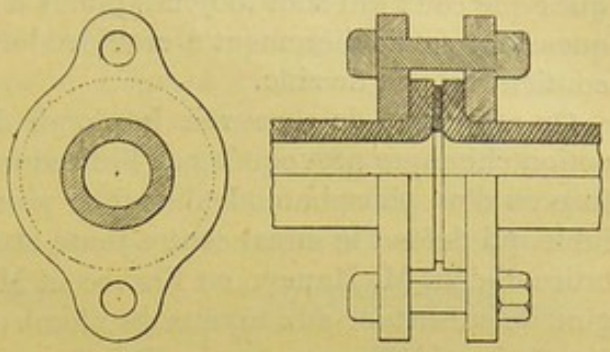


Fig. 326.

puis on les rapproche en interposant un *cuir gras*, et on les serre l'un contre l'autre par l'intermédiaire des petits boulons passés dans les brides.

On sait que les sels solubles de plomb ont des propriétés toxiques, et que l'eau dans laquelle ils seraient dissous, même en faible quantité, ne pourrait être consommée sans inconvénient pour la santé : aussi s'est-on maintes fois demandé si l'emploi du plomb pour la confection des conduites d'eau ne doit pas être proscrit. La question remonte à la plus haute antiquité puisqu'on la trouve traitée par Hippocrate, et, de temps à autre, un incident vient la remettre sur le tapis et provoquer le renouvellement de la *guerre au plomb* en fournissant quelques nouvelles armes à ses adversaires. Le fait même de l'emploi continu et universel du plomb prouve de la manière la plus certaine que le danger qui en résulte est sans importance véritable, et il n'y a peut-être pas lieu de s'en préoccuper autrement que de l'usage du cuivre, pour la fabrication de maint ustensile de cuisine[1]. En effet, la plupart des eaux potables n'attaquent guère le plomb ; il faut pour qu'elles en dissolvent quelques traces qu'elles soient très pures, riches en oxygène et restent longtemps en contact avec le métal : les nitrates, les chlorures, les sels ammoniacaux parraissent faciliter l'action de l'eau sur le plomb, les carbonates, les sulfates, les phosphates semblent l'empêcher. Presque toujours, d'ailleurs, il se forme sur la paroi intérieure du tuyau un dépôt adhérent qui joue le rôle d'un enduit protecteur ; les eaux calcaires surtout donnent lieu à un dépôt de ce genre, aussi est-il rare qu'elles attaquent le plomb d'une manière sensible. Quoi qu'il en soit, il convient d'éviter que l'eau, surtout si elle est pure, reste longtemps stagnante en présence du plomb ; et l'on recommande avec raison de ne pas faire usage de l'eau qu'on retire d'abord d'une canalisation en plomb neuve ou n'ayant pas

1. La Commission anglaise de la Pollution des rivières a taxé d'exagération la crainte de l'empoisonnement de l'eau par le plomb.

fait de service depuis un certain temps. Il y a lieu d'observer en outre que les tuyaux exposés alternativement à l'air et à l'eau, comme ceux des distributions d'eau à service intermittent, sont plus facilement attaqués que ceux qui sont toujours pleins d'eau, et que les actions chimiques sont particulièrement à craindre lorsque le plomb n'est pas pur et contient un peu de zinc.

On a proposé de recouvrir le plomb d'un enduit intérieur, dû à une action chimique provoquée par l'introduction dans les tuyaux d'un sulfure ou d'un phosphate alcalin : il se produit alors un sel de plomb insoluble qui défend le métal contre toute attaque ultérieure. Dans le même ordre d'idées M. Hamon, en France, et M. Haine, en Angleterre, ont imaginé de substituer aux tuyaux de plomb ordinaire des tuyaux de *plomb étamé* considérés comme inoffensifs, parce que les composés d'étain sont insolubles et non toxiques ; ils ont fait fabriquer des tuyaux de plomb revêtus intérieurement d'une chemise adhérente en étain d'un demi-millimètre d'épaisseur ; ces tuyaux se courbent aisément mais ils coûtent assez cher [1], et la difficulté se représente d'ailleurs aux soudures qu'il faudrait également supprimer en employant, comme on l'a tenté en Amérique, des pièces de raccord en bronze étamé.

293. Tuyaux de fer. — Le fer ou plutôt la tôle peut rendre des services pour la confection de conduites forcées de très gros diamètres, qu'on n'a pas encore osé aborder avec la fonte ; mais ces dimensions exceptionnelles, que réclament tout au plus les siphons des grands aqueducs, ne trouvent point d'applications dans les distributions proprement dites.

On y a fait néanmoins assez souvent usage du fer, à cause de sa résistance considérable à la traction, qui permet de l'employer sous des épaisseurs bien moindres que la fonte et de réduire en conséquence très sensiblement le poids et le prix des tuyaux. Mais on a dû s'ingénier à le protéger, par des enduits intérieurs et extérieurs de diverse nature, contre la rouille, à laquelle il est très exposé et qui le détruit rapidement.

Ainsi les tuyaux en fer, du type le plus répandu, au moins en France, sont en tôle plombée, enduits intérieurement de bitume et de cire, et revêtus à l'extérieur d'une couche épaisse de bitume, qui leur donne de la rigidité et en facilite le transport et la pose. Les tuyaux de ce type, dits tuyaux en *tôle et bitume* ou tuyaux *Chameroy*, du nom de l'inventeur, se fabriquent en entourant le cylindre en métal, rivé et soudé, de ficelle goudronnée, et le roulant sur une table, où l'on a étendu le bitume sur 1 à 2 centimètres d'épaisseur, après y avoir d'abord répandu un peu de sable fin (*fig.* 327). Ils s'assemblent à emboîtement : le bout mâle, fort court et garni de métal fusible, porte des rainures peu profondes, dans lesquelles on enroule de la filasse imprégnée de graisse avant de l'introduire dans le bout femelle également revêtu de métal fusible. Malgré

1. 1,90 d'après l'ingénieur Richards, si le prix du tuyau de plomb est pris pour unité.

la dépense de main-d'œuvre que comporte la confection de ces tuyaux, et malgré l'abaissement considérable du prix de la fonte dans les dernières années, ils ont conservé sur les tuyaux en fonte l'avantage du bon marché, ce qui s'explique si l'on observe que l'épaisseur de la tôle est respectivement de $0^m,0012$, $0^m,0017$, et $0^m,0031$ pour les diamètres de $0^m,10$, $0^m,25$ et $0^m,50$, tandis qu'on donne à la fonte $0^m,010$, $0^m,012$ et $0^m,016$ pour les mêmes diamètres. Il est vrai que les tuyaux en tôle et bitume sont beaucoup moins durables, et qu'à la dépose ils n'ont plus aucune valeur, alors que la vieille fonte se vend encore un tiers du prix de la fonte neuve; d'autre part, les raccordements des conduites entre

Fig. 327.

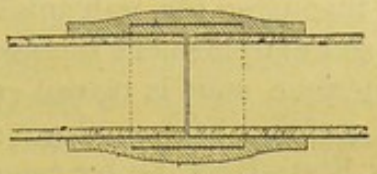


Fig. 328.

elles et les branchements ne s'y font pas aussi bien, et l'on est obligé de recourir à la fonte pour presque toutes les pièces autres que les tuyaux droits.

Aux États-Unis, on a aussi employé dans quelques distributions d'eau des conduites de fort diamètre en fer asphalté ou revêtu de ciment; dans ce dernier cas, le joint est formé d'un manchon en tôle noyé dans un épais bourrelet de ciment (*fig.* 328).

Mais c'est surtout pour les conduites de petite section, pour les branchements de prise et pour les distributions intérieures, et en remplacement du plomb, qu'on a cherché à utiliser le fer et qu'il est peut-être appelé à rendre le plus de services. Les tuyaux *Gandillot*, en fer étiré,

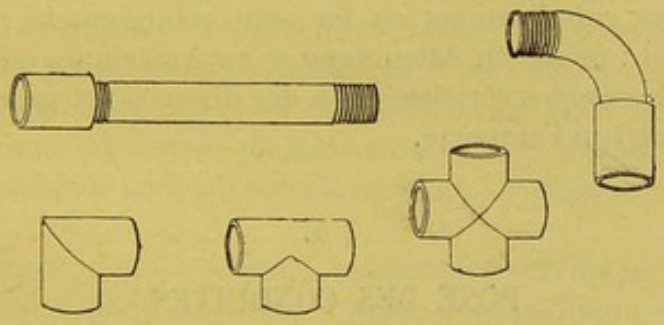


Fig. 329.

avec assemblage à vis, ont trouvé des applications, bien que le métal n'y soit pas protégé contre l'action de l'eau, qui peut s'y charger de sels de fer tout en provoquant une usure rapide ; la fabrication de ces tuyaux a reçu un certain développement et on trouve dans le commerce des raccords de toutes formes et de toutes dimensions. On doit leur préférer en général les tuyaux protégés contre l'oxydation par un revêtement quelconque. Parmi les procédés employés pour obtenir cet enduit pro-

tecteur, nous citerons en première ligne la *galvanisation*, qui s'applique aisément aux tuyaux en fer étiré et consiste à les plonger dans un bain de zinc fondu, après les avoir décapés à l'acide; le zinc, il est vrai, n'est peut-être guère préférable au plomb au point de vue hygiénique, d'autant qu'il est rarement pur, et sa présence ne fait que retarder l'oxydation du fer qui se produit aussi rapidement, sinon plus, dans tous les points où il est mis à nu; quoi qu'il en soit, un certain nombre de villes d'Amérique et plusieurs villes allemandes, parmi lesquelles Augsbourg, Baden-Baden, Bamberg, Bayreuth, Heidelberg, Carlsruhe, Saarbrück, Stuttgart, Ulm, paraissent avoir obtenu des résultats satisfaisants avec les tuyaux en tôle galvanisée, à la condition d'exiger que la fabrication en soit extrêmement soignée. On a fait aussi des *tuyaux en fer étamés* à l'intérieur, mais le travail en est difficile et le prix élevé. Les tuyaux en *fer et ciment* sont employés quelquefois pour les distributions intérieures aux États-Unis. Le *fer émaillé* a reçu également quelques applications; mais l'émail ne peut être étendu aux raccords, où il faut y suppléer par une composition qui n'a pas les mêmes qualités; on doit s'attendre, d'ailleurs, à le voir se fendiller assez vite par l'effet des variations de température, de sorte qu'il ne constitue guère qu'une protection temporaire [1]. Enfin, on a essayé de mettre le fer à l'abri de la rouille par une méthode qui consiste à le recouvrir d'un oxyde noir magnétique, et qui est connue sous le nom de procédé Bower-Barff : les tuyaux sont chauffés dans un four spécial à la température convenable pour la production d'une couche mince de sesquioxyde; puis on fait passer un courant d'oxyde de carbone, qui réduit le sesquioxyde et le ramène à l'état d'oxyde magnétique. De tous ces genres de tuyaux, aucun ne se présente en somme avec une supériorité telle qu'il puisse s'imposer d'une manière générale, et les canalisations en fer sont relativement peu répandues jusqu'à présent : même en Allemagne et en Amérique, où la question a donné lieu à des études sérieuses et à des discussions approfondies, c'est encore le plomb qui l'emporte.

§ 4.

POSE DES CONDUITES

294. Conduites en terre. Conduites en galerie. — Les conduites de distribution d'eau sont presque toujours posées sous les voies publiques;

1. Voici quels seraient, d'après l'ingénieur Richards, les prix respectifs de fourniture de quelques types de tuyaux en fer, le prix des tuyaux en plomb étant pris pour unité :

Fer étiré simple.....	0,46
— galvanisé.....	0,50
— cimenté.....	0,58
— émaillé.....	0,65

La pose en est plus chère que celle du plomb.

le plus souvent, elles sont placées *en terre*, au fond d'une tranchée étroite; rarement *en galerie*, c'est-à-dire à l'intérieur de souterrains à parois maçonnées, construits dans ce but spécial ou remplissant en même temps l'office d'égouts.

Le premier mode, de beaucoup le plus économique, est appliqué d'une manière générale; le second ne se rencontre guère qu'à l'état d'exception et dans les très grandes villes.

Il suffit de donner à la tranchée une profondeur suffisante pour que les conduites en terre soient à l'abri des variations de température et des risques d'écrasement ou de rupture. Les fuites, s'il s'en produit, se révèlent d'ordinaire par l'apparition de l'eau à la surface, puisqu'elle est en pression et tend à jaillir à travers le revêtement de la chaussée, pour peu que la ligne de charge soit, comme cela est de règle, supérieure au niveau du sol; il suffit d'ouvrir une tranchée pour en découvrir la cause et effectuer la réparation, de sorte que la surveillance et l'entretien ne présentent pas de difficulté. Sans doute il se produit parfois certains incidents fâcheux : dans un terrain très perméable, par exemple, une fuite peut rester longtemps invisible et donner lieu à un éboulement souterrain, qui détermine, au bout de quelque temps, un effondrement brusque de la chaussée, ou le tassement et la rupture de la conduite, ou encore des infiltrations dans les caves du voisinage; dans un terrain imprégné d'eau et contaminé par des puisards ou des fosses perdues, une conduite où certaines manœuvres détermineraient un vide momentané, pourrait recevoir du dehors des apports malfaisants; la surface extérieure des tuyaux directement en contact avec la terre humide est exposée à une action destructive avec laquelle il faut compter parfois, etc. Mais ces incidents sont assez rares pour qu'il n'y ait pas à s'en préoccuper d'ordinaire; tout au plus devra-t-on, pour les prévenir, prendre quelques précautions particulières dans certains cas exceptionnels. Malgré les inconvénients qu'elle peut avoir ainsi quelquefois, la pose en terre donne en somme de bons résultats, et il faut des circonstances toutes spéciales pour qu'on soit conduit à y substituer la pose en galerie.

Ces circonstances, d'après Dupuit, seraient les suivantes: galerie existante ou nécessaire pour un autre usage, voie publique étroite et très fréquentée, tranchée profonde, conduite de gros diamètre, grande pression de l'eau. Dans de semblables conditions, en effet, il y a d'une part un très grand intérêt à éviter les fuites en terre, qui pourraient prendre des proportions graves et amener des désastres, en même temps qu'à supprimer les ouvertures fréquentes de tranchées, si gênantes pour la circulation ; et d'autre part la dépense supplémentaire reste dans des limites assez restreintes. Avec les conduites en galerie, tout danger d'infiltration disparaît et l'eau qui s'échappe par les fuites trouve un écoulement assuré ; la pose se fait souterrainement ainsi que les réparations,

la surveillance est rendue très facile, et les visites peuvent être répétées fréquemment ; rien n'empêche de renouveler l'enduit protecteur destiné à défendre la paroi extérieure des conduites contre la rouille ; les tuyaux sont à l'abri des chocs, des tassements, des ruptures ; enfin ils n'éprouvent pas plus de variations de température que lorsqu'ils sont en terre, pourvu qu'il n'y ait dans les galeries ni courants d'air violents ni écoulement d'eaux chaudes venant de l'extérieur. Ces avantages sont très appréciables ; mais il ne faut pas se dissimuler que, s'il faut, pour les obtenir, construire tout exprès les galeries à grande section nécessaires pour le transport, la pose, la visite et la réparation des conduites, ils seront achetés fort cher ; remarquons d'ailleurs, en passant, que la dépense à faire pour la galerie ne varie que bien peu avec le diamètre des tuyaux, de sorte qu'elle est relativement moindre pour les grosses conduites que pour les petites et partant plus justifiée. Quand on dispose, comme à Paris, d'un réseau de galeries visitables pour l'écoulement des eaux d'égout, il y a peu de chose à faire pour le mettre en état de recevoir les conduites d'eau, et on doit évidemment sans hésitation adopter d'une manière systématique la pose en égout. On devra y recourir aussi, quelque coûteuse qu'elle puisse être, quand les conduites auront à passer sous des chaussées imperméables, où les fuites ne sauraient apparaître au dehors, dans un sol médiocre et auprès de hautes maisons, de telle sorte que toute infiltration pourrait amener des dégâts importants, sous les voies ferrées, etc. A Londres et dans quelques villes des États-Unis, on a construit souvent à côté ou au-dessus des égouts d'autres galeries spécialement destinées à recevoir les conduites d'eau.

295. Dispositions des conduites en plan et en profil. — Lorsque dans une rue il doit y avoir une conduite d'eau unique, on la place ordinairement au milieu, afin que les branchements de part et d'autre soient d'égale longueur. Si la voie publique empruntée est très large, on évite souvent l'obligation de recourir à de longs branchements transversaux, en remplaçant la conduite unique par deux conduites de plus petit diamètre, symétriquement placées de part et d'autre. Certaines considérations spéciales peuvent d'ailleurs intervenir, et faire préférer suivant les cas des emplacements différents : ici, on devra éviter une voie de tramway, là ménager les plantations ; tantôt on recherchera les trottoirs où les tranchées sont moins gênantes, les affaissements possibles moins dangereux, la réfection du revêtement moins coûteuse ; tantôt, au contraire, on s'en écartera par crainte d'infiltrations dans les maisons ou pour éviter le voisinage des conduites de gaz, etc.

Les sinuosités doivent être réduites autant que possible ; et, s'il faut admettre des courbes, il y a lieu de les disposer de manière que la pose des tuyaux s'y fasse sans difficulté, soit en profitant de la flexibilité des joints, soit en recourant aux pièces courbes de rayon déterminé qui font partie de la série des raccords ordinaires. L'expérience permet de déter-

miner aisément les rayons de courbure limites dont il convient de ne pas s'écarter ; on devra, au reste, préférer les petits rayons aux grands, parce qu'ils ramènent en quelques points bien déterminés l'effort des pressions intérieures, qu'il devient dès lors plus facile de contre-buter afin d'éviter les déboîtements possibles.

Dans le cas de pose en égout, il n'y a évidemment qu'à suivre le tracé des galeries empruntées, si elles ont été construites antérieurement ; mais, quand l'établissement de ces galeries est entrepris en vue de la pose des conduites, on doit avoir soin de donner aux courbes les rayons convenables pour y faciliter le passage des tuyaux.

Le profil des conduites posées en terre ne diffère pas en général de celui du sol ; la tranchée reçoit partout exactement la profondeur normale admise, et le fond est parallèle à la surface. Quelquefois seulement, le sol présentant des inflexions multipliées, la conduite est posée suivant un profil moins accidenté, qui est obtenu en faisant varier la profondeur de la tranchée ; quelquefois aussi, faute d'une charge suffisante, l'eau ne pourrait franchir un point haut, et il devient nécessaire d'enfoncer profondément la conduite dans le sol en l'enveloppant au besoin dans une galerie ; d'autres fois, il faut l'élever ou l'abaisser pour éviter un obstacle, passer au-dessus ou au-dessous d'une conduite ou d'un égout transversal, la mettre à l'abri des atteintes d'une nappe d'eau souterraine, etc.

296. Profondeur des tranchées. — Quant à la profondeur normale des tranchées, elle est déterminée par la nécessité de laisser au-dessus des tuyaux une épaisseur de terre assez grande pour les défendre à la fois contre tout danger d'écrasement et contre les effets de la gelée. De ces deux conditions, la première conduit à réserver entre le sol et le dessus de la conduite une hauteur variable suivant le mode de revêtement du sol et la nature de la circulation, plus grande sous une chaussée en terre parcourue par de lourds véhicules que sous une chaussée pavée fréquentée par des voitures légères, plus petite sous un trottoir, et comprise entre $0^m,40$ et $1^m,50$ dans les cas les plus ordinaires ; la seconde a des conséquences différentes suivant les climats. König, pour l'Allemagne, demande $1^m,50$ à 2 mètres de terre au-dessus des conduites ; Dupuit, pour la France, indique seulement $1^m,40$; à Paris on se contente de $1^m,20$, et souvent dans nos pays, on a pu descendre au-dessous sans inconvénient. Il est évident qu'on devra choisir le plus élevé des deux chiffres fournis par l'une ou l'autre considération ; en y ajoutant le diamètre du tuyau et le double de son épaisseur, on aura la profondeur à donner à la tranchée.

Lorsqu'on a eu soin de remplir les conditions qui viennent d'être indiquées, la température de l'eau qui circule dans les conduites varie extrêmement peu ; de sorte qu'il ne faudrait pas compter sur l'influence du sol, même durant un long parcours, pour échauffer ou rafraîchir cette

eau dans des proportions sensibles. Ne sait-on pas, au reste, que, dans les régions à climat tempéré, un tuyau de gros diamètre, dans lequel l'eau a un écoulement constant et de vitesse modérée, ne gèle pour ainsi dire jamais ? Fanning cite des tuyaux dans ces conditions qui n'ont point gelé au-dessous d'une rivière où la glace acquiert quelquefois une épaisseur de $0^m,30$. Il n'en est pas de même évidemment si l'eau reste stagnante, de sorte que les conduites en impasses des réseaux ramifiés sont plus exposées à souffrir de la gelée que les circuits fermés des réseaux maillés ; elles le sont d'autant moins d'ailleurs que les diamètres des tuyaux sont plus grands.

297. Dispositions particulières dans certains cas spéciaux. — Les tuyaux se posent ordinairement au fond des tranchées, sans aucune préparation préalable ; mais ce mode d'opérer suppose que le terrain est suffisamment résistant. Dans le cas contraire, si la tranchée est ouverte, par exemple, dans un terrain meuble, sans homogénéité, exposé à des terrassements inégaux, comme un remblai de mauvaise qualité, il faut prendre quelques précautions : poser les tuyaux sur des dosses de bois ou sur des madriers portés par de petits pieux, sur un lit de béton ou sur des arcades légères s'appuyant sur des piliers en maçonnerie. Quelquefois, on se contente de disposer des supports isolés, pieux ou piliers, de distance en distance, et d'y appuyer directement les tuyaux ; mais ce système n'est pas recommandable, car il peut donner lieu à des tassements inégaux et par suite à des ruptures. Aussi doit-on éviter avec soin de faire porter les conduites sur les restes de maçonnerie, sur les anciennes fondations qu'on rencontre parfois dans les tranchées : ce serait les exposer à se briser en ces points au bout de quelque temps.

Lorsqu'on a deux conduites à poser dans la même voie publique, on peut être tenté de n'ouvrir qu'une seule tranchée pour les recevoir toutes deux, par mesure d'économie. Mais cette pratique doit être proscrite : tout accident sur l'une des conduites en amènerait en effet fatalement un autre sur la conduite voisine ; et, en cas de fuite, on ne saurait discerner aisément celle qui appelle une réparation. L'exemple de Francfort-sur-le-Mein, où les conduites de service ont été placées quelquefois dans les mêmes tranchées que les conduites maîtresses, ne paraît pas devoir être suivi.

Si, à la rencontre d'un égout, le profil de la conduite ne saurait être dévié de manière à la faire passer au-dessus ou au-dessous, on peut percer les maçonneries et poser les tuyaux en travers de l'égout, en réservant l'espace nécessaire pour l'écoulement de l'eau ou la circulation. Tantôt les tuyaux sont laissés à nu, tantôt on les enveloppe d'un *fourreau* ou manchon ; mais, dans tous les cas, il faut éviter de les faire porter sur les maçonneries.

Pour franchir les cours d'eau, les conduites empruntent presque toujours les ponts existants. Lorsqu'ils sont en maçonnerie, une galerie est

pratiquée, sous les trottoirs de préférence, et recouverte soit de dalles en pierre ou de plaques de fonte, soit d'une voûte aplatie (*fig.* 330). Au passage des ponts en fer, on peut suspendre les tuyaux entre les poutres, les placer en encorbellement; ou leur ménager un logement au-dessus des pièces de pont; mais alors il est presque toujours indispensable de choisir un mode de joints assez flexible pour se prêter aux oscillations de l'ouvrage. Dans le cas, fort rare, où le pont ne pourrait pas supporter le surcroît de charge résultant du passage des tuyaux, force serait de

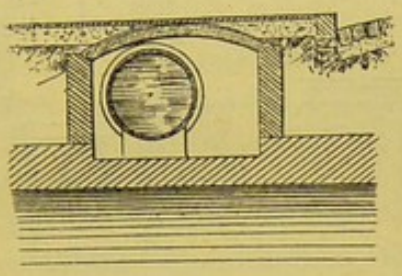


Fig. 330.

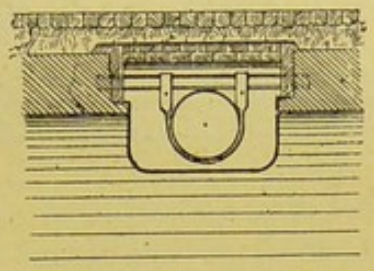


Fig. 331.

recourir à des supports spéciaux, ou de poser la conduite en siphon dans le lit même du cours d'eau. Il arrive parfois qu'un pont en maçonnerie n'a pas une voûte assez épaisse pour qu'il soit possible d'y loger la galerie destinée à recevoir une conduite d'eau : rien n'empêche alors de couper entièrement la voûte et de laisser la conduite faire saillie en dessous, soit qu'elle reste apparente, soit qu'on l'enveloppe dans un fourreau ou une bâche en métal ou en bois (*fig.* 331).

298. Pose en tranchée. — L'ouverture des tranchées destinées à recevoir des conduites d'eau ne présente aucune particularité. Leur largeur doit être telle qu'un homme puisse y travailler sans gêne, ce qui suppose au moins $0^m,60$ à $0^m,70$ d'ouverture au niveau du sol, quel que soit le diamètre des tuyaux : la même largeur suffit tant que le diamètre reste inférieur à $0^m,40$; au delà, il faut l'augmenter suivant les besoins. On a recours à des étaiements si le terrain est ébouleux, mais en ayant soin de disposer les étrésillons de manière à ne point entraver la descente des tuyaux. Le fond est réglé avec soin suivant le profil arrêté ; puis, si la tranchée est un peu étroite pour le matage, on prépare des *niches*, pour le faciliter, au droit de chaque joint.

Les tuyaux sont alors descendus dans la tranchée, ce qui se fait sans difficulté aucune pour les petits diamètres ; pour les gros, le poids des pièces à manier devient considérable et il faut recourir à des engins spéciaux. Le plus souvent on fait usage d'un chariot roulant placé en travers de la tranchée et dont les supports s'appuient sur le sol de part et d'autre ; un double treuil, disposé à la partie supérieure du chariot, sert à manœuvrer les chaînes ou les cordes auxquelles on suspend le tuyau, et qu'il suffit de laisser filer ensuite pour le descendre dans la fouille,

quand le chariot a été amené au point convenable : on facilite la manœuvre en faisant porter les roues ou galets du chariot sur des chemins en madriers ou sur des rails. D'autres fois on pose au fond de la tranchée une petite voie ferrée, sur laquelle circule un truc, qui vient recevoir les pièces de fonte au pied d'un plan incliné servant à en opérer la des-

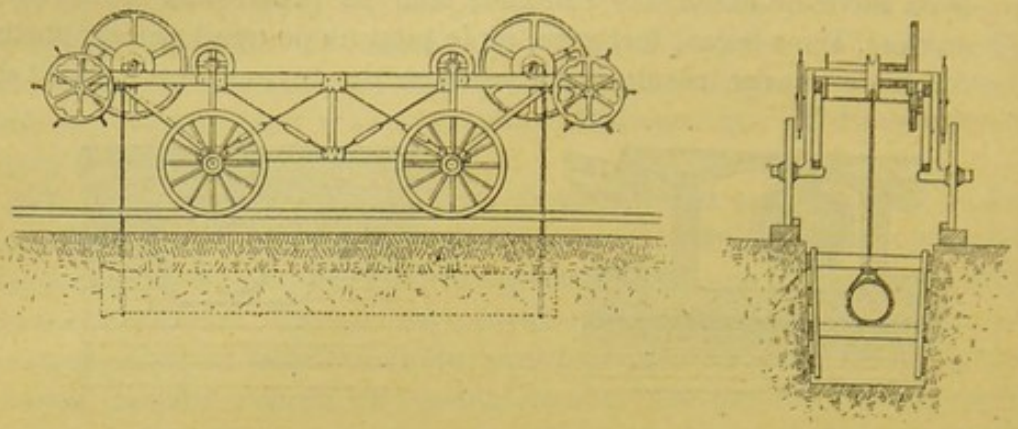


Fig. 332.

cente, et les transporte au lieu d'emploi. Dans tous les cas, et afin d'éviter de fausses manœuvres, des pertes de temps et des frais inutiles, il faut examiner chaque pièce avec soin, la sonner au marteau, s'assurer qu'elle n'a pas souffert pendant le transport, avant d'en opérer la descente.

Quand il y a un certain nombre de tuyaux en place au fond de la tranchée, on entreprend la confection des joints. Il ne serait pas bon de descendre plusieurs tuyaux à la fois, après avoir fait les joints correspondants hors de la fouille, car les manœuvres en les ébranlant compromettraient ces joints ; tout au plus un tel mode d'opérer est-il admissible pour de petites pièces faisant partie de raccords compliqués, et plus particulièrement pour des pièces à brides. Si les joints sont à emboîtement, on s'assure, avant de couler le plomb et au moyen d'un petit gabarit spécial, que l'espace annulaire réservé est bien régulier et qu'il a partout la profondeur de $0^m,04$; on fait ensuite la coulée, puis on procède au matage.

Il est extrêmement utile de faire l'épreuve des joints avant de remblayer la tranchée. A cet effet, dès qu'un tronçon de conduite est terminé, on place à l'extremité une plaque pleine provisoire et on la contre-bute solidement; puis on remplit la conduite, et, au moyen d'une pompe de compression on y élève la pression jusqu'à la limite fixée; on vérifie alors que les joints ne perdent pas d'eau, qu'aucune fuite ne se produit, ou, si des filets d'eau apparaissent, on complète le matage des joints correspondants. Assez souvent, quand il s'agit de conduites reliées à un réseau en service, on n'a point recours à la pompe de compression, et l'on se contente de soumettre les tronçons à éprouver à la pression

même qu'ils devront supporter normalement. Dans le cas, au contraire, où l'on établit une canalisation nouvelle, il peut être parfois difficile de se procurer l'eau nécessaire aux épreuves, de sorte qu'il y faut renoncer : il va sans dire qu'il y a lieu de redoubler alors de soin pendant la pose et de surveiller de près la conduite pendant les premiers temps. Il se produit assez souvent des ruptures au moment des épreuves par l'effet des coups de bélier, si l'on n'a pas convenablement assuré le dégagement de l'air, ou si l'on ne procède pas au remplissage de la conduite avec la prudente lenteur qu'il convient d'apporter à cette opération.

Enfin il reste à remblayer la tranchée, en pilonnant les terres en plusieurs couches pour diminuer autant que possible les tassements ; quoi qu'on fasse, ils sont d'ailleurs inévitables, aussi faut-il attendre quelque temps avant de procéder au rétablissement définitif de la chaussée ou du trottoir.

299. Butées. — Lorsque des conduites de fort diamètre sont soumises à des pressions considérables, il ne faut jamais omettre de les contre-buter convenablement tant aux coudes qu'aux extrémités. En ces divers points, en effet, la poussée de l'eau tend à déboîter les tuyaux, et, à

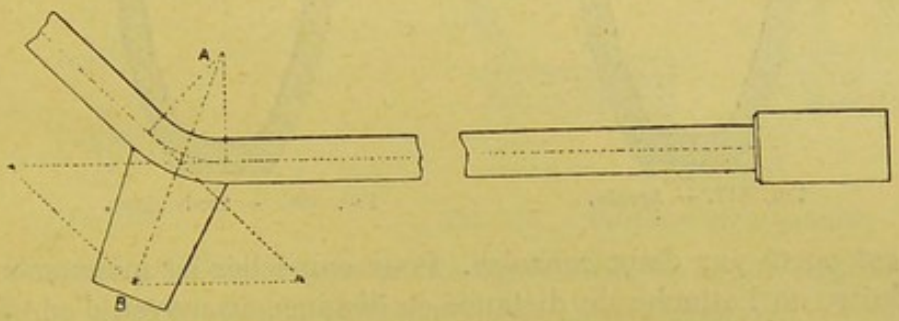


Fig. 333.

moins que les joints résistent par eux-mêmes, comme c'est le cas pour les joints à brides solidement maintenus par les boulons, il peut arriver qu'ils s'ouvrent et donnent lieu à des fuites plus ou moins graves. On calcule aisément l'importance de l'effort auquel il s'agit d'opposer une résistance appropriée : à l'extrémité d'une conduite c'est la pression même qui s'exerce normalement sur la partie mouillée de la plaque de fermeture ; dans un coude, c'est la résultante des poussées suivant la bissectrice de l'angle formé par les deux tronçons de la conduite.

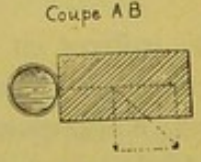


Fig. 334.

La résistance s'obtient soit en appuyant les conduites sur la paroi de la fouille et contre le sol vierge, s'il est assez compact, soit plus généralement en établissant tout exprès des massifs de maçonnerie qui résistent par leur poids. Le calcul de ces massifs est fort simple : il suffit d'en composer le poids avec l'effort dû à la poussée de l'eau, pour obtenir la résultante ; et l'on s'assure que cette résultante

passe dans la base même du massif, et à une distance suffisante de l'arête extrême pour donner toute sécurité.

300. Pose en galerie. — Quand les conduites sont placées en galerie, les tuyaux sont le plus souvent supportés par des *consoles* en

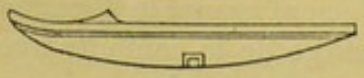


Fig. 335.

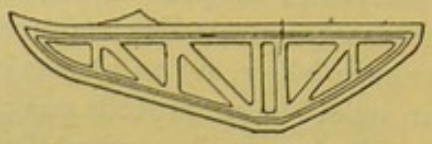


Fig. 336.

fonte scellées dans l'une des parois en maçonnerie, à la naissance de la voûte ou un peu au-dessous, et qui présentent une partie courbe épousant la forme du tuyau, afin de lui donner une assiette solide : chaque

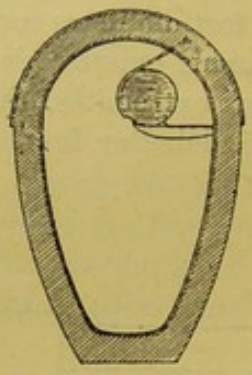


Fig. 337. — Agrafe.

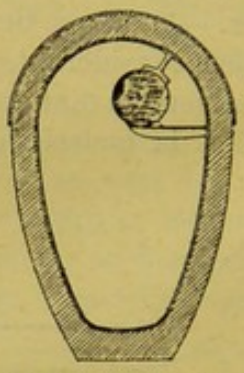


Fig. 338. — Arc-boutant.

tuyau est porté par deux consoles. Pour empêcher les mouvements de la conduite, on l'attache de distance en distance au moyen *d'agrafes* ou

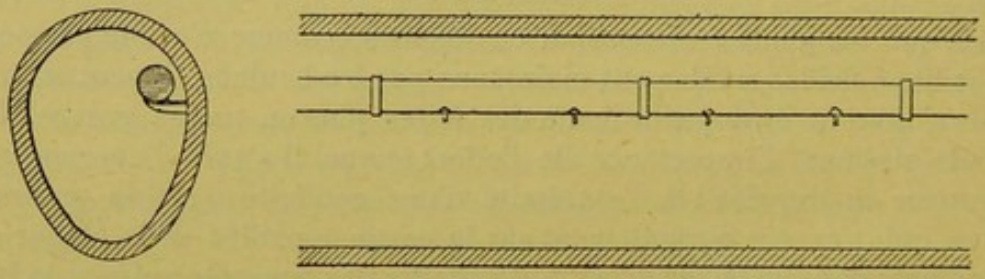


Fig. 339. — Conduite sur consoles.

de *colliers* en fer retenus dans les maçonneries par des scellements en queue de carpe, ou on le maintient par des *arcs-boutants* également en fer, s'appuyant sur les maçonneries par l'intermédiaire de plaques de métal.

Les butées aux extrémités ou aux coudes sont formées, soit par des barres de fer ou des poutres en I s'appuyant sur le radier, la voûte ou les piédroits de la galerie, soit par des massifs de maçonnerie comme pour les conduites en terre.

Autrefois, on employait des *corbeaux* en pierre au lieu de consoles en fonte usitées aujourd'hui; on en trouve un exemple dans la distribution d'eau de Dijon(*fig.* 340).

Fig. 340.

Quand les conduites sont de fort diamètre, le porte-à-faux des consoles devient trop considérable, et il vaut mieux les remplacer par des supports verticaux disposés sur le radier ou sur les banquettes des galeries; tantôt ce sont des *colonnettes* en fonte, tantôt des *tasseaux* ou dés en maçonnerie. Les colonnettes ont une base élargie qui répartit convenablement le poids sur le radier, un fût mince de manière à occuper le

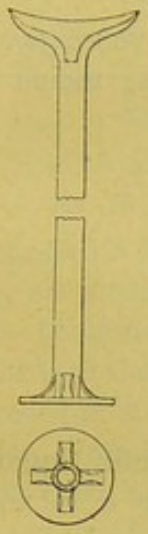


Fig. 341.

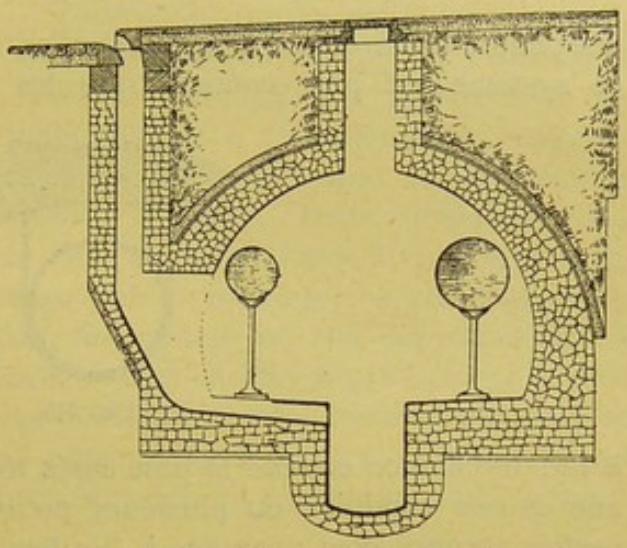


Fig. 342. — Conduites sur colonnettes.

moins d'espace possible, et une partie supérieure recourbée, sur laquelle la conduite vient reposer solidement : leur inconvénient est d'avoir une longueur déterminée, ce qui oblige à connaître très exactement d'avance la position de la conduite dans tous les points, et devient gênant quand

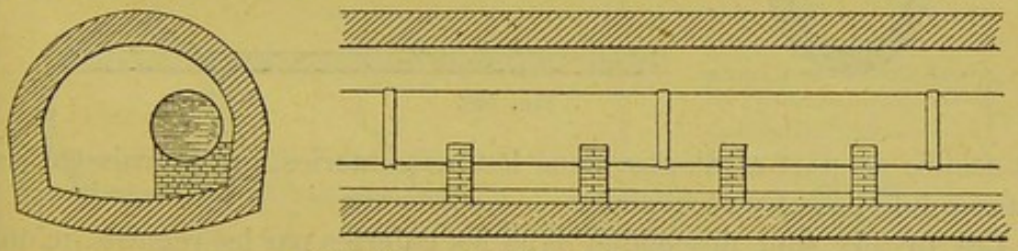


Fig. 343. — Conduite sur tasseaux.

une modification quelconque se trouve nécessaire. A ce point de vue, l'emploi des tasseaux donne des facilités très grandes, puisqu'on les construit sur place, souvent même après la pose de la conduite soutenue provisoirement par des pièces de bois. Les agrafes, colliers et arcs-boutants s'emploient dans ce cas exactement comme avec les conduites posées sur consoles.

Quelquefois, par exemple, lorsque la galerie est plus haute que large,

les tuyaux sont placés à la voûte, au-dessus des naissances, et soutenus par des *étriers* en fer, qui sont ou scellés dans la maçonnerie ou reliés à

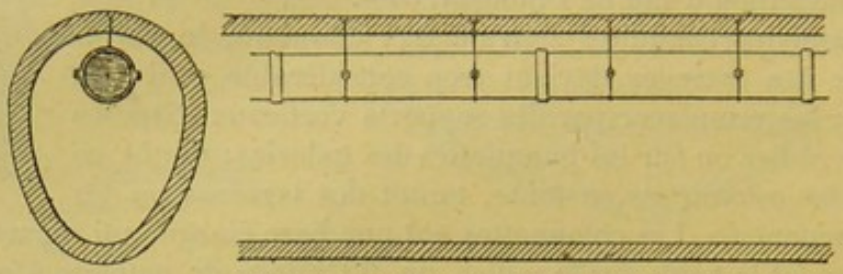


Fig. 344.

une plaque transversale reposant sur l'extrados de la voûte (*fig.* 344, 345); ce système est plus coûteux que les précédents, moins favorable

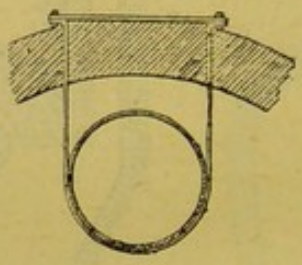


Fig. 345.

à la surveillance et rend la pose assez malaisée. Enfin, quand il y a une grosse conduite ou plusieurs petites à poser à la voûte, on a parfois recours avec avantage à des fers à I, disposés horizontalement

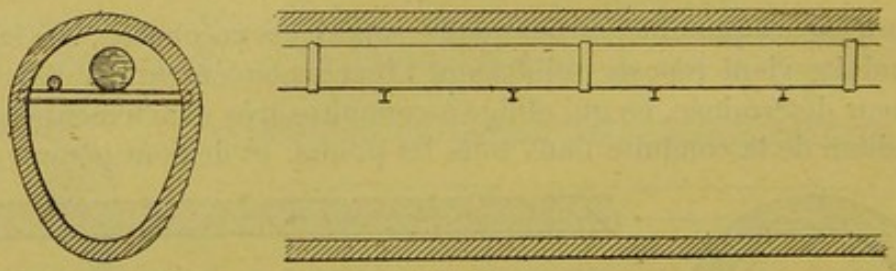


Fig. 346.

et scellés de part et d'autre dans les maçonneries, qui fournissent une base solide pour les recevoir.

Les tuyaux sont descendus dans les galeries par les regards qu'on a eu soin de ménager de distance en distance, ou par des ouvertures spéciales pratiquées dans la voûte au moment de la pose : le second mode est le seul applicable aux pièces de grande dimension. Dans l'intérieur des galeries, le transport s'effectue à bras ou au moyen de trucs circulant sur une petite voie ferrée : des radeaux ont été employés parfois dans des égouts de grande dimension où l'eau coulait constamment en masse considérable.

301 Branchements et prises. — Les *branchements* des conduites se-

condaires, se détachant sur le parcours des conduites principales, ont le plus souvent pour point de départ un manchon à tubulure. Ils ne présentent d'ailleurs aucune particularité. Mais il convient d'appeler l'attention sur la poussée qui se produit au droit de chacun de ces branchements, et qu'il peut être nécessaire de contre-buter, si la pression est grande et la conduite secondaire de fort diamètre, en donnant au manchon un appui solide du côté opposé à la tubulure.

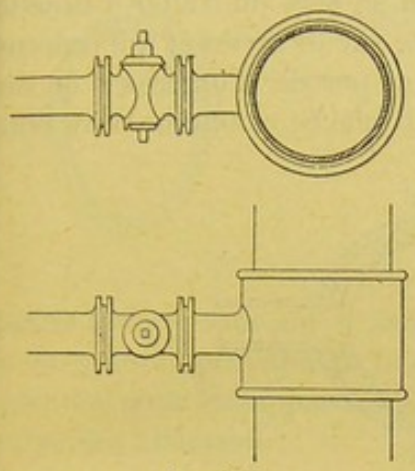


Fig. 347.

Pour les *prises* des petits tuyaux d'alimentation destinés à porter l'eau de la conduite publique aux appareils de distribution ou à l'intérieur des maisons, il n'est point fait usage en général de pièces spéciales. Dans quelques villes cependant, parmi lesquelles on cite Francfort-sur-le-Mein, Salzbourg, Bamberg, on a disposé d'avance sur la conduite, au moment de la pose, des tubulures en attente, aux points où l'on supposait qu'il y aurait plus tard des prises à faire; ce système est dispendieux et ne rend de services que si les tubulures sont parfaitement repérées sur un plan tenu à jour. Ordinairement, on perce la conduite au point voulu quand il y a une prise à faire, et on y raccorde un tuyau de plomb de faible diamètre.

Pour éviter tout danger de rupture du tuyau au moment du percement on a souvent fait venir à la fonte sur chaque pièce un *mamelon*, ou disque saillant, dans lequel on perce un trou taraudé qui peut rece-

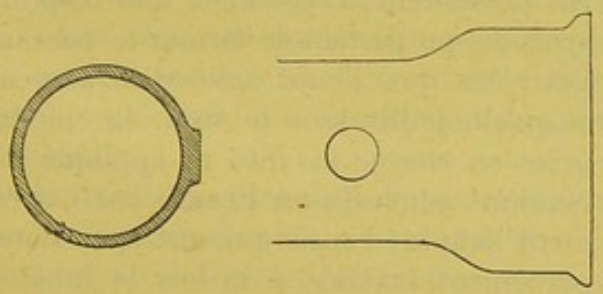


Fig. 348.

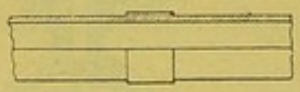


Fig. 349.

voir un robinet ou un bouchon métallique en cas de besoin; autrefois tous les tuyaux employés à Paris portaient un mamelon. Dupuit proposait, pour plus de facilité encore, de substituer au mamelon une bande plate saillante courant sur toute la longueur du tuyau. En Allemagne, on a eu recours aussi à une bande saillante, formant comme une bague autour du tuyau (*fig.* 349), et qui a sur le mamelon l'avantage de ne pas

demander lors de la pose la même attention, puisque le percement peut être fait aussi bien quelle que soit la position du tuyau, tandis que le mamelon doit toujours être amené à la partie supérieure.

A défaut de l'une de ces dispositions, on se sert du *collier à lunette*, sorte de bague mobile en fer qu'on rapporte sur le tuyau et qui présente en un point une partie élargie, renforcée et percée d'un trou : on dispose le collier de manière que la *lunette* soit placée exactement au point

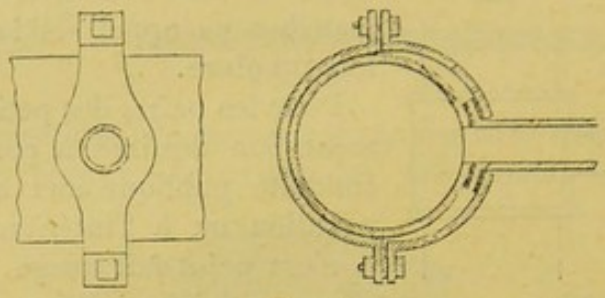


Fig. 350.

où le percement doit avoir lieu. Puis on arrête l'écoulement de l'eau dans la conduite, on la vide, et on procède au percement, après quoi on y adapte le tuyau de plomb dont le bout a été introduit d'abord dans la lunette et rabattu en un collet destiné à être serré entre le tuyau et le collier.

L'arrêt d'eau, qui entraîne une interruption de service de quelques heures au moins, constitue une gêne qu'il y a intérêt à éviter. Aussi, a-t-on imaginé des appareils au moyen desquels la prise peut être faite sans vider la conduite et pendant qu'elle est en service et en pression. Ils présentent à cet effet une disposition spéciale qui permet de fermer le passage à l'eau dès que l'outil achève le percement et qu'elle jaillit dans le trou. Le mode de *prise en charge* inventé et appliqué d'une manière générale en France est extrêmement simple ; l'outil qui sert à exécuter le percement traverse à la fois la lunette et le robinet qu'il est d'usage de placer sur la prise ; dès que l'eau apparaît, on retire l'outil et on ferme le robinet ; il n'y a plus à faire que le nœud de soudure qui reliera au robinet le tuyau d'alimentation en plomb.

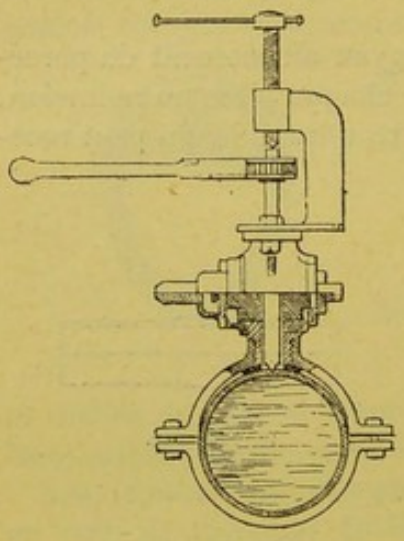


Fig. 351.

Quand les conduites de service sont posées en galerie, il est bon de ne pas laisser en terre les branchements de prise, sinon la cause d'infiltration qu'on a voulu supprimer subsisterait au moins en partie et avec tous ses dangers. On peut alors, soit envelopper le tuyau de branche-

ment dans une gaine métallique ou *fourreau,* débouchant dans la galerie (*fig.* 352) et présentant une pente continue, de manière à y écouler immédiatement l'eau qui proviendrait des fuites, soit le placer dans une

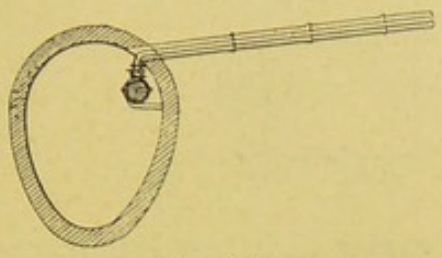


Fig. 352.

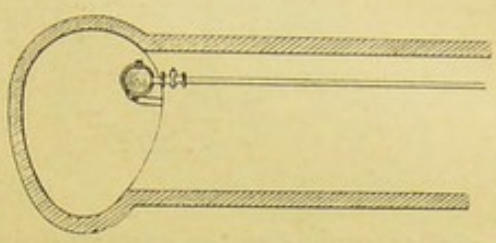


Fig. 353.

petite galerie spéciale de section réduite (*fig.* 353) disposée normalement à la galerie principale. Les deux systèmes sont appliqués à Paris, le premier pour les appareils publics, le second pour les branchements de prise des abonnés.

§ 5.

APPAREILS ACCESSOIRES DES CANALISATIONS D'EAU

302. Rôle multiple des appareils accessoires. — Toute canalisation d'eau doit être pourvue d'un certain nombre d'appareils accessoires, du bon fonctionnement desquels dépend en grande partie la régularité du service.

Il est indispensable notamment d'avoir le moyen d'isoler un tronçon de conduite quelconque et de le vider, pour le cas où il faut y exécuter un travail de réparation ou autre; et cela suppose des appareils d'*arrêt* aux extrémités du tronçon considéré, et un appareil de *décharge* au point bas. Il faut aussi, au moment du remplissage ou de la vidange de chaque bief, assurer la sortie ou la rentrée de l'air, ce qui implique encore des appareils spéciaux, placés cette fois aux points hauts, *tuyaux d'évent* ou *ventouses*.

Dans un réseau bien disposé, toute conduite reçoit un appareil d'arrêt à son origine, et, de plus, si elle a une certaine longueur, d'autres à intervalles réguliers, tous les 500 mètres par exemple, sur son parcours; puis un appareil de décharge à chaque point bas et un appareil d'évacuation d'air à chaque point haut.

Voilà le nécessaire; mais il arrive souvent qu'on est conduit à employer encore d'autres appareils, soit du même genre soit d'autres types, pour répondre à des besoins spéciaux; tel est par exemple le cas des *trous d'homme* (*fig.* 354), qu'on adapte souvent aux conduites de gros diamètre pour en permettre la visite intérieure, ou pour y faciliter l'introduction de certains appareils de nettoyage.

Les appareils accessoires sont en général assez coûteux, et il faut en conséquence éviter soigneusement d'en augmenter le nombre sans uti-

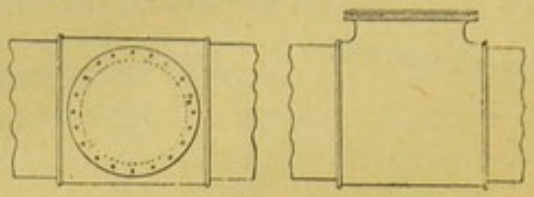


Fig. 354.

lité réelle ; mais d'autre part on doit se garder de le trop réduire, car ce serait toujours aux dépens de la sécurité et de la permanence du service.

303. Appareils employés pour l'arrêt ou la décharge. — Pour arrêter l'écoulement de l'eau dans les conduites ou en opérer la vidange, on emploie des appareils de formes et de dispositions diverses, que l'on confond d'ordinaire sous la désignation de *robinets*. Ils s'ouvrent ou se ferment à volonté par un mouvement de rotation, qui tantôt est limité à un quart de tour, et tantôt au contraire suppose plusieurs tours complets. Le premier cas, applicable seulement aux tuyaux de petit diamètre, est celui des robinets ordinaires ou *robinets à boisseau*, formés d'un tronc de cône percé d'un trou ou lumière, qui tourne à frottement dans une boîte reliée à la conduite, et qui se manœuvre directement au moyen d'une *clé*. Le second implique l'emploi d'un organe intermédiaire, vis ou engre-

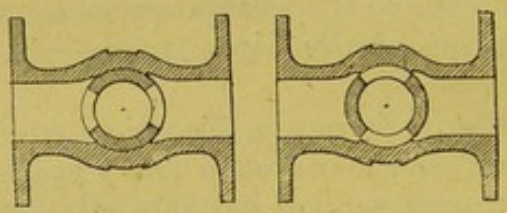


Fig. 355.

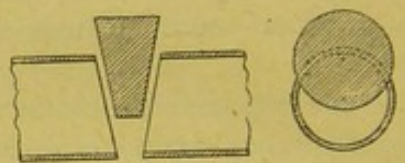


Fig. 356.

nage, par lequel la clé transmet le mouvement à l'obturateur mobile.

Cet obturateur est le plus généralement un disque, en forme de coin, qui vient s'appliquer de part et d'autre sur des sièges fixes disposés à l'intérieur d'une boîte métallique reliée à la conduite, et qui constitue ainsi une double fermeture étanche (*fig.* 356). L'appareil prend alors le nom de *robinet-vanne*.

Mais on emploie aussi des appareils d'arrêt ou de décharge à fermeture lente où l'obturateur ne présente pas cette forme. Tantôt c'est un cône tournant autour de son axe, comme dans le robinet à boisseau, ou se déplaçant parallèlement à cet axe ; le frottement cesse dans le second cas dès que le contact cesse lui-même par le fait du démarrage comme pour le robinet-vanne, tandis que dans le premier cas il s'exerce pendant tout le temps de la rotation. Tantôt il est composé de deux disques, articulés à l'extrémité d'une tige à vis, et qui viennent s'appliquer de part et d'autre sur des sièges fixes (*fig.* 357). Il a reçu encore la forme d'une sphère

creuse, emboîtée dans un chambre également sphérique et tournant autour d'un de ses diamètres, ce qui permet de disposer trois voies d'eau

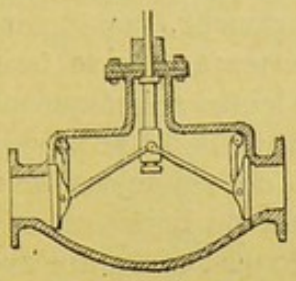


Fig. 357.

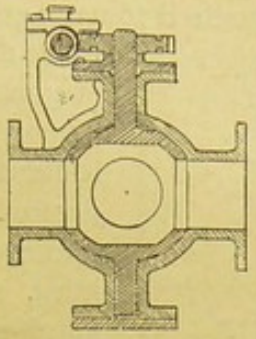


Fig. 358.

et de fermer une quelconque d'entre elles (*fig* 358); ou celle d'un disque vertical portant deux secteurs pleins et deux vides, qui tourne autour de son centre (*fig*. 359).

Quelquefois la fermeture est disposée de manière à résister à la pression, non plus des deux côtés comme dans les appareils que nous venons de citer, mais d'un côté seulement : la vanne en forme de coin s'applique alors sur un seul siège et reste libre d'autre part; ou l'on n'emploie qu'un disque articulé au lieu de deux. A ce type se rattachent les robinets où

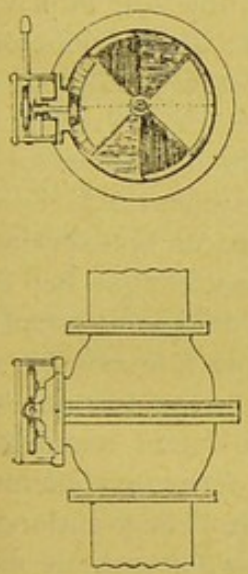


Fig. 359.

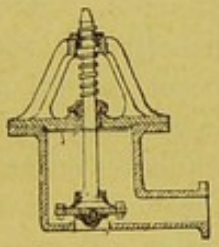


Fig. 360.

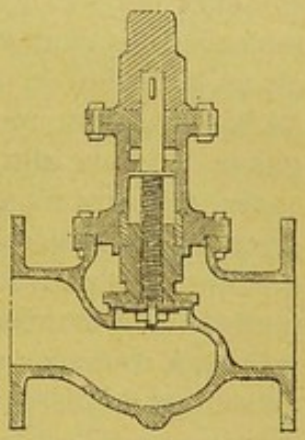


Fig. 361.

la fermeture est obtenue au moyen d'une soupape plate, venant s'appliquer sur un siège horizontal, qui conviennent mieux comme décharges que comme robinets d'arrêt, parce qu'ils brisent les filets d'eau lorsque le clapet reste suspendu dans la masse en mouvement.

Nous ne donnerons pas ici la description détaillée des très nombreuses dispositions proposées ou mises en usage, et nous nous bornerons à quelques indications relatives aux deux types les plus répandus: les robinets à boisseau et les robinets-vannes.

304. Robinets à boisseau. — Le robinet à boisseau se compose de deux parties essentielles : l'obturateur mobile ou *clé* et la boîte métallique, dans laquelle il tourne, qui est le *corps* du robinet ou le *boisseau* proprement dit. La clé traverse le boisseau de part en part, et y est retenue par une *clavette*, passée dans un trou disposé à la partie inférieure ; elle se termine vers le haut par un *carré* sur lequel s'applique un *chapeau* destiné à recevoir l'about de la clé de manœuvre. La lumière percée dans la clé est de section rectangulaire, et le vide intérieur du boisseau est profilé de manière à la raccorder de part et d'autre avec la section circulaire de la conduite par des surfaces courbes, afin de diminuer autant que possible la contraction. Le boisseau porte deux abouts, de forme variable suivant le mode de jonction adopté pour le relier aux deux parties de la conduite, mais le plus souvent à brides.

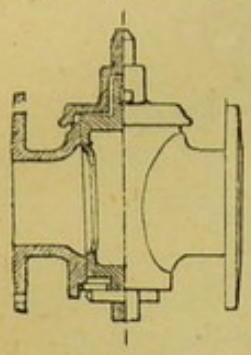


Fig. 362.

Ce robinet, ordinairement en bronze, convient aux petites conduites à cause de sa simplicité de construction et de manœuvre ; mais il ne saurait être appliqué à celles de grand diamètre sans modification, car l'effort à faire pour le manœuvrer deviendrait trop considérable, et la difficulté d'ajustage augmenterait dans de très fortes proportions, ainsi que le prix.

Manœuvré souvent, le robinet à boisseau s'use vite ; il perd bientôt son étanchéité et des filets d'eau s'en échappent. Cet effet se produit surtout avec des eaux chargées de sable. On le remet en état en le *rodant* ; et, en prévision de cette nécessité, on a toujours soin de lui donner lors de la fabrication une *garde* suffisante, c'est-à-dire d'augmenter la longueur de la clé afin de lui permettre de rendre encore un bon service après plusieurs réparations successives qui en diminuent chaque fois la grosseur, de telle sorte qu'elle s'enfonce de plus en plus dans le boisseau ; à moins de réparations très fréquentes on ne parvient pas à le maintenir parfaitement étanche. C'est pourquoi on le remplace quelquefois par le robinet à soupape ; mais ce dernier, s'il est exempt du défaut reproché au robinet à boisseau, n'a pas toutes ses qualités : la fermeture, bonne dans un sens, l'est moins dans l'autre, et l'écoulement de l'eau y éprouve une gêne plus grande. Aussi a-t-on cherché à obtenir l'étanchéité du robinet à soupape sans renoncer aux qualités du robinet à boisseau, en conservant la clé tronconique mais en fermant le boisseau ; cette disposition implique au moins une garniture ou presse-étoupe, qui exige une surveillance et des soins particuliers, et ne permet plus de rattraper aussi aisément l'usure.

Récemment cependant le problème semble avoir été résolu par M. Gibault, grâce à une disposition ingénieuse qui donne de bons résultats. La clé, renversée, présente son petit bout en haut, de sorte que la pression même de l'eau la soulève et l'appuie sur le boisseau, qui est fermé

en-dessous; la tige qui porte le carré passe à travers une garniture en cuir embouti; et le poids de la clef de manœuvre en venant peser sur cette tige, facilite le fonctionnement du robinet. Même avec ce système, on ne peut guère dépasser le diamètre de $0^m,100$, si l'on ne veut pas avoir à faire un trop grand effort pour la manœuvre; et, pour en étendre l'em-

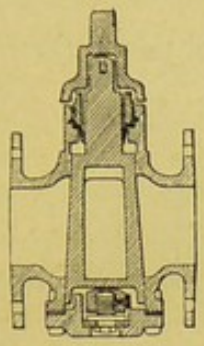


Fig. 363.

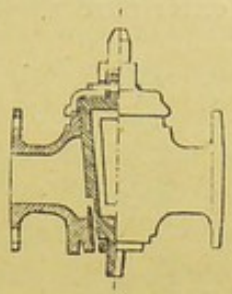


Fig. 364.

ploi aux diamètres spéciaux, il faut nécessairement recourir à un engrenage qui le complique beaucoup.

Les robinets à boisseau employés comme robinets d'arrêt sont munis assez souvent d'un petit orifice, par lequel l'un des deux biefs se vide automatiquement, lorsque le robinet est fermé (*fig.* 364). C'est un mode de décharge simple et commode, qui rend d'utiles services et ne coûte pour ainsi dire rien.

305. Robinets-vannes. — Le corps du robinet-vanne est toujours en fonte, et généralement il présente deux brides qui servent à le relier à la conduite de part et d'autre. Quelquefois, à l'étranger, on remplace les brides par deux cordons ou deux emboîtements; les brides sont préférables, parce qu'elles permettent le démontage et l'enlèvement du robinet sans modification ni déplacement des pièces voisines.

La *vanne* se compose d'un disque épais en fonte, garni de deux cercles

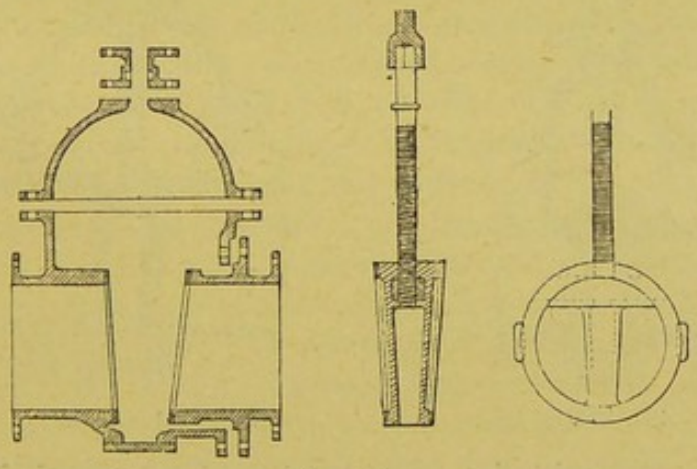


Fig 365.

en bronze, qui viennent s'appliquer sur deux autres cercles de même

métal fixés au corps du robinet; la vis fixe qui sert à la manœuvrer et l'écrou mobile qu'elle porte sont également en bronze. Lorsqu'elle est ouverte, la vanne laisse complètement libre la section d'écoulement de la conduite et vient se loger tout entière dans la partie supérieure du corps du robinet, dont la hauteur doit être en conséquence plus grande que le double du diamètre de la conduite.

La forme extérieure du robinet-vanne n'est pas toujours la même et

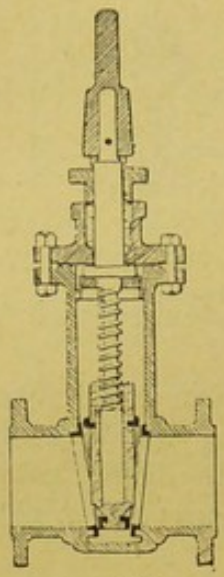


Fig. 366.

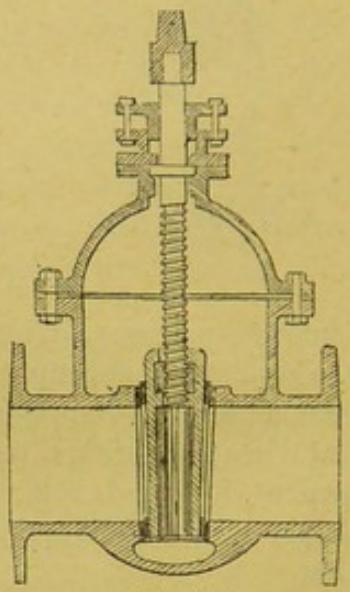


Fig. 367.

plusieurs types sont entrés simultanément dans la pratique. Tantôt la cage où se meut le disque est aplatie (*fig.* 366), tantôt elle est de section

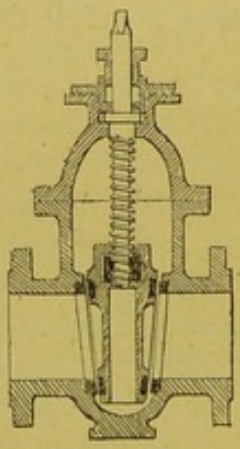


Fig. 368.

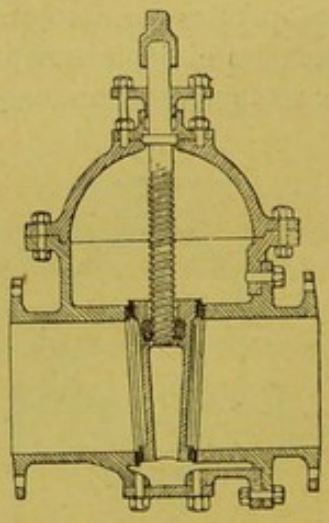


Fig. 369.

circulaire (*fig.* 367) ou elliptique (*fig.* 368.) Au point de vue de la résistance, c'est évidemment la forme cylindrique à base circulaire qui est la meilleure : elle est adoptée à Paris d'une manière générale. Mais les robinets

méplats coûtent moins cher et se sont par suite beaucoup répandus en Angleterre et en France; ils ne présentent d'ailleurs aucun inconvénient pour les petits diamètres, car l'épaisseur donnée à la fonte lui permet aisément de supporter les pressions habituellement admises. La forme ovale est usitée en Allemagne.

Le prix de ces appareils varie surtout avec le mode d'ajustage des rondelles en bronze qui assurent le contact de la vanne et du robinet. Dans le type Herdevin (*fig.* 369), type primitif des robinets-vannes à corps cylindrique et calotte sphérique, seul employé à Paris depuis de longues années, ces rondelles sont appliquées sur des faces préalablement tournées, tournées elles-mêmes de part et d'autre, et fixées par des vis. Dans la plupart des autres systèmes elles emboîtent une saillie en fonte brute, ou sont enfoncées dans une rainure à surfaces également brutes, tournées d'un seul côté, et fixées au moyen d'un mastic au minium, ce qui présente moins de garantie de durée, mais simplifie beaucoup la fabrication et diminue par suite la dépense. Les divers types diffèrent aussi par le pas de la vis, la nature du bronze, la forme et le mode d'attache du stuffing-box ou presse-étoupe, etc.

Tout robinet-vanne doit être essayé avant la réception : on peut à cet effet procéder comme pour les tuyaux, et utiliser une presse du même genre, dont les plateaux sont seulement moins écartés. Il est bon de les soumettre à la pression d'épreuve, soit ouverts, soit fermés, et en mettant l'eau de part ou d'autre de la vanne. Un bouchon à vis, placé sur la calotte, sert à l'évacuation de l'air pendant le remplissage ; un autre, à la partie inférieure, quelquefois remplacé par une petite plaque pleine, permet la vidange complète et le nettoyage de la cage.

Le robinet-vanne a l'inconvénient de ne pas indiquer au dehors la position de l'obturateur, et, tandis que la position seule du carré montre si le robinet à boisseau est ouvert ou fermé, on est obligé avec le robinet-vanne de faire une manœuvre complète jusqu'à refus ou de compter le nombre de tours pour s'en assurer. Aussi a-t-on été conduit à rechercher le moyen d'obtenir cette utile indication et imaginé à cet effet diverses dispositions : la plupart, compliquées et dispendieuses, ou assez peu commodes, ne se sont guère répandues. Tantôt le mouvement de la vis est transmis à une tige, qui s'élève le long d'une règle graduée, ou à une aiguille, qui se déplace sur un cadran; tantôt à un cylindre en émail, qui tourne sur son axe et présente à la vue des parties de couleurs différentes suivant les cas : dans l'indicateur figuré ci-contre, un disque représentant la vanne se déplace comme elle en avant d'un autre disque immobile, semblable à une section de la conduite.

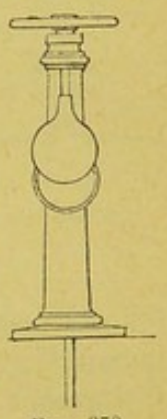


Fig. 370.

306. Manœuvre des robinets de grand diamètre. — En règle générale les robinets sont manœuvrés à la main. Mais pour ceux qui s'adap-

tent aux conduites de grand diamètre, malgré la réduction du pas de la vis et l'augmentation consécutive du nombre de tours à effectuer pour la manœuvre, l'effort n'en devient pas moins très considérable : la clé ne peut plus être mise en mouvement par un seul homme; il en faut deux, quatre ou même plus, de sorte que le service devient pénible, difficile et coûteux.

Pour remédier à cet inconvénient on a eu recours à plusieurs moyens

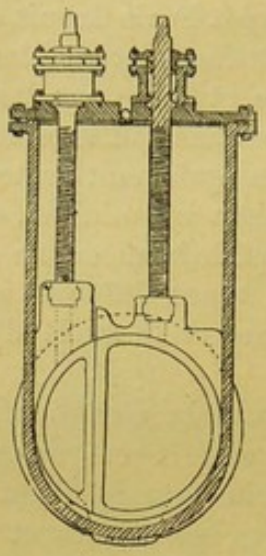


Fig. 371.

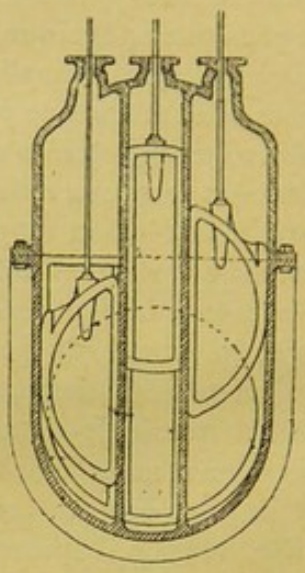


Fig. 372.

différents. En Angleterre, on a quelquefois divisé la vanne en plusieurs parties de moindre surface, qu'on lève successivement au moyen de vis différentes (*fig.* 371 et 372). Ailleurs, et en France notamment, on a tourné la difficulté, en plaçant, latéralement au gros robinet, une deuxième conduite, de petit diamètre, reliée de part à d'autre à la première et portant également un robinet; cet ensemble, désigné sous le nom de *nourrice* (*fig.*373), sert ou à remplir un bief par l'intermédiaire de l'autre sans manœuvrer le gros robinet, ou à établir l'équilibre sur les deux faces de ce dernier appareil, qui s'ouvre alors sans difficulté puisqu'il n'y a plus à vaincre que le poids de la pièce mobile et non le frottement dû à la pression de l'eau. A Paris on emploie toujours la nourrice à partir du diamètre de $0^m,50$.

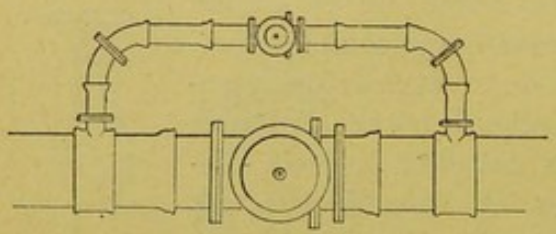


Fig. 373.

Un système plus ingénieux et plus efficace en même temps consiste dans la substitution d'une manœuvre hydraulique à la manœuvre à la main. On utilise à cet effet la pression même de l'eau dans la conduite ; mais il convient d'observer que cette pression ne peut agir quand la

conduite est entièrement vide, et que le système suppose ou les deux biefs ou l'un des deux plein et en pression ; il faudrait donc toujours se réserver la possibilité de faire l'ouverture à la main dans certains cas. Le type le plus simple de robinet-vanne à manœuvre hydraulique est celui où la vanne est directement reliée par une tige verticale à un piston (*fig.* 374) qui se déplace dans un cylindre, en communication avec la conduite par de petits tuyaux munis de robinets : ce type comporte une grande hauteur et exclut toute manœuvre à la main. Un autre, plus commode et moins encombrant, mais un peu plus compliqué, est obtenu

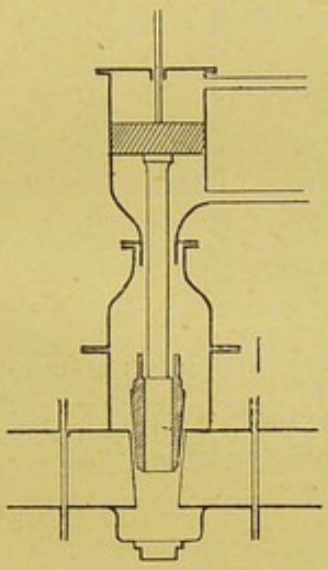


Fig. 374.

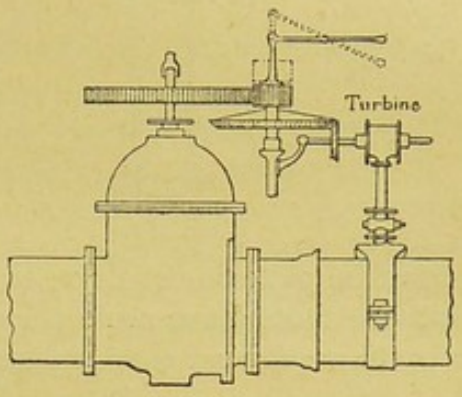


Fig. 375.

par l'adaptation d'un petit moteur, turbine ou autre, actionnant la vis d'un robinet-vanne ordinaire. La manœuvre hydraulique a été seulement mise à l'essai à Paris, où elle a rendu des services dans certaines circonstances exceptionnelles : peu répandue jusqu'à présent, elle mériterait de recevoir des applications plus nombreuses.

307. Pose des robinets. — Les robinets des conduites posées en

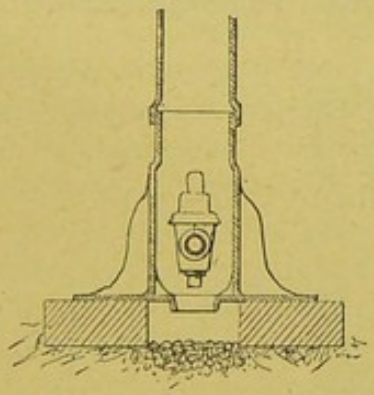


Fig. 376.

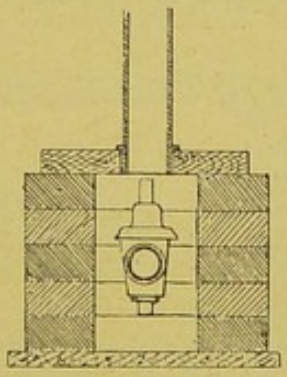


Fig. 377.

terre sont d'ordinaire placés de même en terre, dans une position verticale. Pour que la clé de manœuvre puisse venir s'adapter au carré de

l'appareil, on en isole la partie supérieure au moyen d'un *tabernacle*, qu'on surmonte d'une *bouche à clé* venant s'ouvrir au niveau du sol. Le tabernacle est le plus souvent une petite chambre en briques recou-

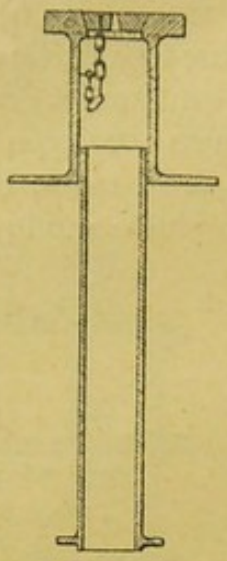


Fig. 378.

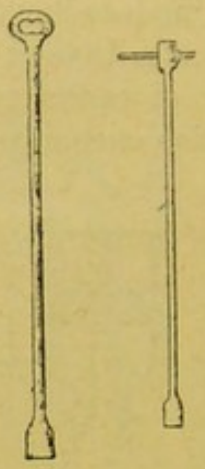


Fig. 379.

verte d'un plateau en bois ou en fonte (*fig.* 376) quelquefois une sorte de cloche en fonte d'une seule pièce (*fig.* 377); une ouverture est pratiquée à la partie supérieure pour le passage de la clé (*fig.* 379). C'est au-dessus

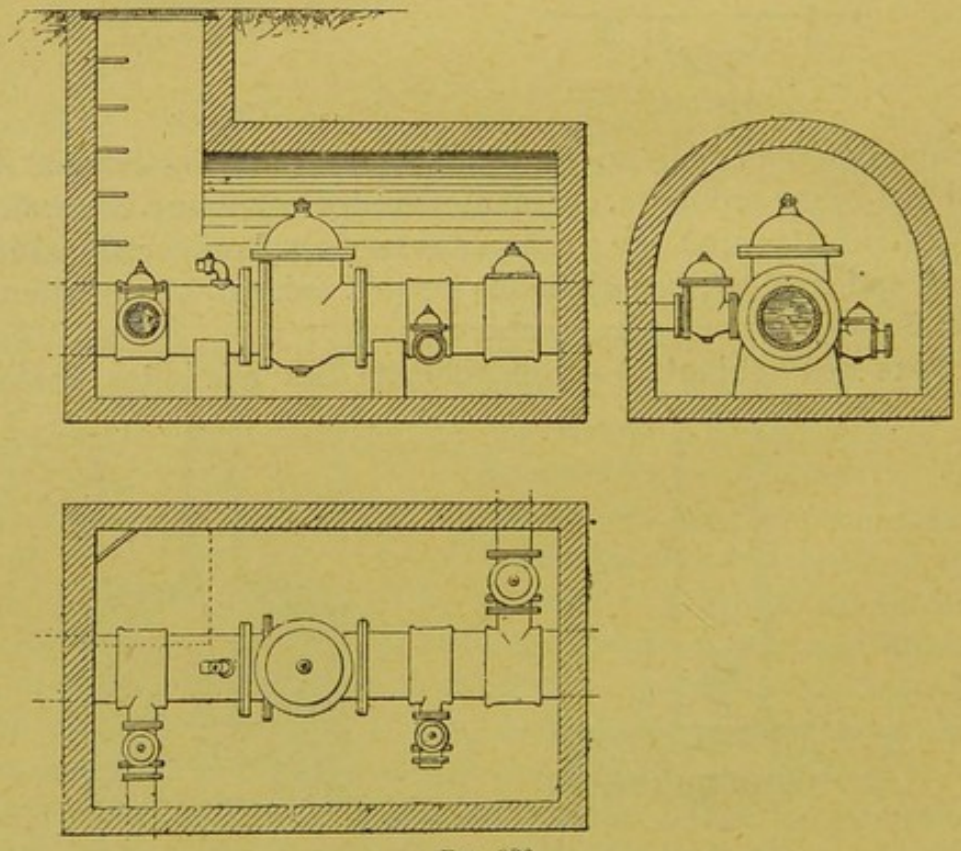


Fig. 380.

de cette ouverture que se place la cheminée en bois ou en fonte de la bouche à clé (*fig.* 378), qui se termine au ras du sol par un petit tampon

en fonte. Le tabernacle n'a pas de fond et le robinet repose directement sur la terre afin que les petites fuites, s'il vient à s'en produire, trouvent un écoulement dans le sol.

Quelquefois, et surtout lorsque plusieurs robinets se trouvent réunis sur un même point, on construit pour les recevoir des *chambres* en maçonnerie, auxquelles on accède par un *regard* ou cheminée en maçonnerie, pourvue d'échelons, et fermée au niveau du sol par un lourd tampon de fonte ou par des plaques de tôle maintenues au moyen d'un verrou. Ces chambres permettent de manœuvrer les robinets sans recourir aux bouches à clé, souvent difficiles à maintenir au niveau convenable dans les voies à grande circulation et qui sont toujours une gêne pour l'entretien des chaussées; elles facilitent aussi la visite et la surveillance des appareils que l'on peut alors réparer sans ouvrir de tranchées.

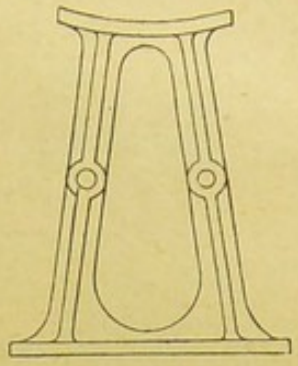


Fig. 381.

Les robinets sont posés à l'intérieur des chambres soit sur des consoles ou des tasseaux en maçonnerie, soit sur des supports en fonte de forme spéciale (*fig.* 381); des fers scellés dans les parois servent à empêcher les mouvements qui pourraient se produire par l'effet des pressions intérieures. On ne doit pas omettre de ménager un écoulement à l'eau provenant des fuites, qui viendraient à se produire dans l'intérieur de chaque chambre, au moyen d'un conduit aboutissant à un caniveau ou à un égout voisin, et à défaut au moyen d'un petit puisard : l'écoulement des eaux doit être assuré d'une manière plus certaine encore quand il s'agit de robinets de décharge.

La pose en égout ne présente aucune particularité; elle se fait de la même manière que dans les chambres spéciales en maçonnerie. Souvent, la hauteur manquant pour les robinets-vannes, on pratique des niches, ou l'on surélève la voûte pour les recevoir; plus rarement on les place dans la position horizontale, ce qui s'est fait systématiquement dans certaines villes, à Vienne (Autriche) par exemple, mais il vaut mieux l'éviter, car la vanne pèse alors en porte-à-faux sur la vis et tend à la fausser; ou bien on les remplace par des robinets à secteurs mobiles ou sphériques dont la hauteur est sensiblement moindre.

Les robinets d'arrêt reçoivent ordinairement le même diamètre que la conduite sur laquelle on les place : quelquefois, par mesure d'économie, et en Angleterre d'une manière presque générale, on leur donne au contraire un diamètre un peu plus faible, ce qui en pratique, malgré l'étranglement qui en résulte, ne paraît pas avoir d'inconvénient sérieux. C'est ainsi qu'à Paris on ne place guère sur les conduites de $1^{m},10$ et de 1 mètre de diamètre que des robinets de $0^{m},80$.

Les robinets de décharge, au contraire, peuvent être d'un diamètre bien inférieur à celui de la conduite correspondante; ils n'interviennent

pas en effet dans le service normal, et ne servent qu'à écouler l'eau d'un bief dans des cas exceptionnels où le plus souvent la durée de la vidange est chose indifférente. On les place autant que possible latéralement à la conduite, afin qu'ils puissent conserver la position verticale et se

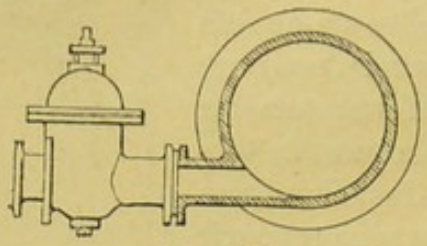


Fig. 382.

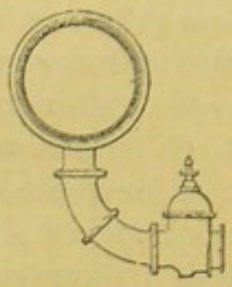


Fig. 383.

manœuvrer au besoin par l'intermédiaire de bouches à clé : les manchons à tubulure tangente se prêtent aisément à cette disposition (*fig.* 382), mais à défaut on la réalise sans peine au moyen des manchons à tubulure ordinaire auxquels il suffit d'ajouter une ou deux pièces courbes (*fig.* 383).

308. Appareils servant à l'évacuation de l'air. — Le plus simple des appareils employés pour faciliter l'échappement de l'air, qui s'accumule aux points hauts des conduites de distribution, est le *tuyau d'évent*. On y a recours au voisinage des réservoirs, où la pression est nécessairement faible, de sorte qu'il n'y a pas à lui donner une grande hauteur ; il faut néanmoins tenir compte des coups de bélier, qui s'y produisent quelquefois, et peuvent projeter l'eau à plusieurs mètres au-dessus de son niveau piézométrique.

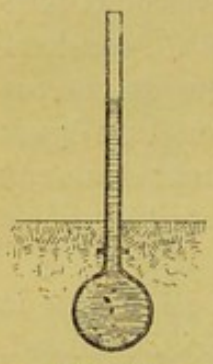


Fig. 384.

Outre que les tuyaux d'évent sont exposés à la gelée, ils ne seraient pas d'un emploi pratique en d'autres emplacements, car leur hauteur augmente rapidement avec la pression. Au lieu de cheminées élevées, coûteuses et peu commodes, il est bien préférable de disposer au voisinage des points hauts et d'y relier les orifices quelconques de puisage, de lavage ou d'arrosage qui, se trouvant fréquemment ouverts, assurent l'évacuation régulière de l'air, et qu'on peut d'ailleurs ouvrir exprès en temps utile, ou encore de recourir à de petits appareils spéciaux dits *ventouses*.

Un simple robinet, placé au point haut (*fig.* 385), remplit fort bien l'office de ventouse, à la condition qu'il soit manœuvré toutes les fois que l'évacuation de l'air est nécessaire. Mais on a imaginé et construit pour cet usage des engins automatiques, dont le type est la *ventouse à flotteur* de Bettancourt : une boule creuse, que l'eau soulève, maintient sur son siège une petite soupape, qui retombe au contraire et découvre l'orifice d'évacuation, dès que le flotteur s'abaisse par suite de la présence de l'air. Quelques perfectionnements qu'on ait apportés depuis à la ventouse automatique, dont nous donnons ici une disposition plus mo-

derne usitée en Angleterre (*fig.* 387), on n'est pas parvenu à supprimer les défauts qui l'empêchent de rendre tous les services qu'on pourrait en attendre. Très souvent elle ne fonctionne pas, parce que l'air, qui se tient absolument au point haut quand l'eau est en repos, ne s'y maintient plus dès qu'elle est en mouvement ; « les bulles, dit Darcy, le dé- « passent presque toujours et se tiennent en équilibre dans la branche

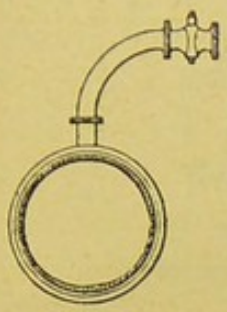


Fig. 385.

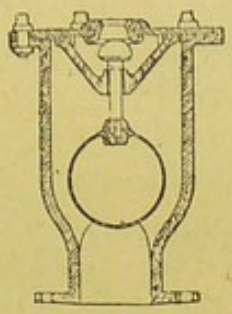


Fig. 386.

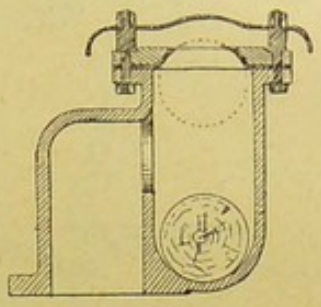


Fig. 387.

« descendante ; la position qu'elles occupent dépend de leur volume et « de la vitesse du fluide[1] » ; d'autres fois et pour une cause quelconque elle reste ouverte et donne lieu à une fuite plus ou moins importante. Aussi y a-t-on renoncé dans nombre de villes pour en revenir aux appareils non automatiques qui, moyennant une surveillance convenable, donnent une plus grande sécurité.

La quantité d'air à évacuer en service normal est peu considérable, d'autant qu'une partie est toujours entraînée par l'eau et va s'échapper par les orifices de puisage. On pourrait donc ne donner aux ventouses qu'une assez faible section s'il n'y avait pas à se préoccuper de la vidange et du remplissage des conduites, dont la durée dépend nécessairement de la vitesse avec laquelle l'air peut y pénétrer ou s'en échapper.

309. Appareils divers. — Outre les appareils que nous venons de passer en revue, il convient d'en mentionner quelques autres, parmi ceux dont l'emploi est moins général ou moins fréquent, mais qui sont appelés cependant à rendre des services dans certains cas particuliers.

Les *soupapes de sûreté* sont de ce nombre. Maintenues sur leurs sièges par un poids ou un ressort, elles ne doivent livrer passage à l'eau que sous un effort dépassant notablement la pression normale. On les applique à certaines conduites plus spécialement exposées aux coups de bélier, à celles aussi, qui, tout en servant à la distribution, reçoivent l'eau refoulée par les machines, et où l'on doit craindre et prévenir des ruptures que la fermeture intempestive d'un robinet d'arrêt pourrait provoquer. Ces soupapes peuvent recevoir des dispositions variées ; celle qui est représentée par la figure est assez satisfaisante.

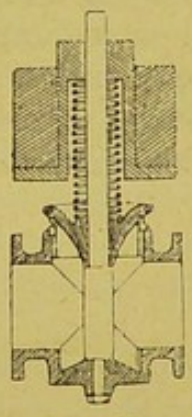


Fig. 388.

1. Darcy. *Les Eaux publiques de Dijon*, p. 413.

Quelquefois on place en certains points d'un réseau des valves ou clapets *de retour*, disposés pour laisser écouler l'eau dans un sens considéré comme seul normal et pour lui barrer le passage quand elle tend à prendre la direction inverse. Nous avons donné au chapitre XI un exemple relatif à l'emploi d'un clapet de ce genre au voisinage des réser-

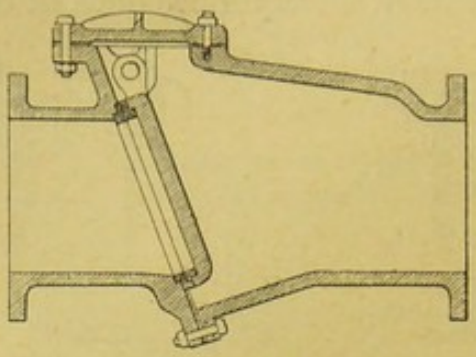


Fig. 389.

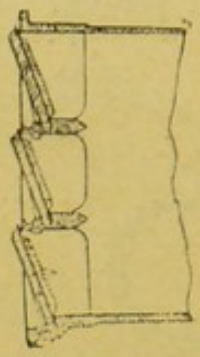


Fig. 390.

voirs ; on en place aussi parfois entre deux étages distincts d'une distribution d'eau ou sur le parcours des conduites de refoulement ; des appareils analogues pourraient aussi rendre des services en s'opposant à la vidange du réseau et des réservoirs, dans le cas où une très grosse fuite vient à se produire subitement. Ils ont cependant un défaut grave : en présentant tout à coup à l'eau en mouvement un obstacle infranchissable, ils provoquent des coups de bélier, dus à la force vive de la colonne liquide, et qui, dans les grosses conduites et les biefs de grande longueur, peuvent amener des ruptures. Peut-être atténue-t-on un peu ces effets en diminuant le poids des clapets et les exécutant en plusieurs pièces comme c'est l'usage en Angleterre (*fig.* 390).

Il est souvent utile d'établir aux points de contact des réseaux étagés d'une même distribution des communications qui s'ouvrent soit à volonté soit automatiquement. Celles du premier type peuvent être obtenues au moyen d'un simple robinet, ou mieux de deux robinets placés à la suite l'un de l'autre, avec une décharge intermédiaire permettant de s'assurer en tout temps que la fermeture est bien étanche de part et d'autre ; les cuves régulatrices ou réservoirs secondaires, dans lesquels l'eau de l'étage haut est déversée au besoin, pour alimenter l'étage bas sans y déter-

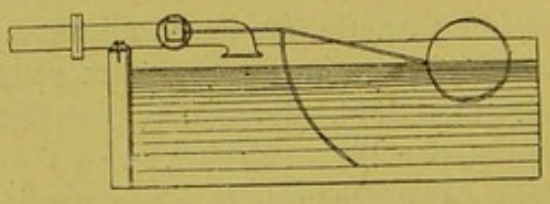


Fig. 391.

miner une augmentation de la pression, ne sont autre chose aussi qu'un mode de communication utilisable au gré de l'exploitant. Les communications automatiques se réalisent par l'emploi de robinets à flotteurs

(*fig.* 391) : une petite cuve reliée à l'étage bas, et où le niveau de l'eau varie avec la pression, c'est-à-dire avec les besoins, reçoit le flotteur qui actionne le robinet d'alimentation rattaché aux conduites de l'étage supérieur. Cette disposition, fort simple et très pratique pour les canalisations de faible diamètre, n'est pas applicable aux très grosses conduites, à cause des dimensions exagérées qu'il faudrait donner au flotteur

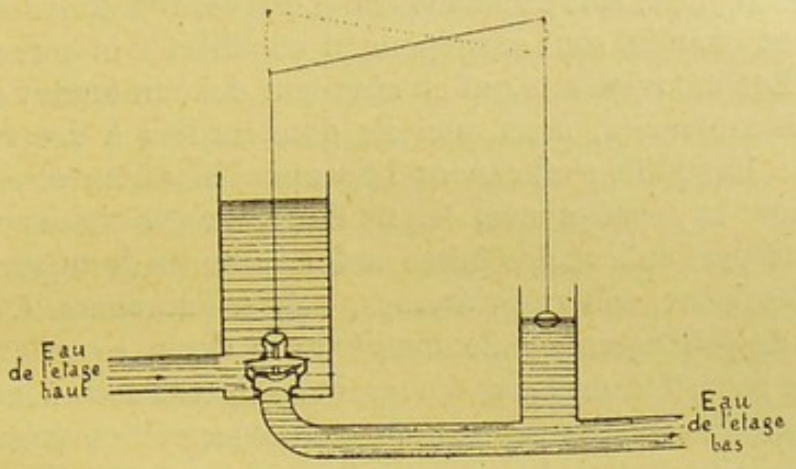


FIG. 392.

et au robinet. Mais elle peut être remplacée par d'autres qu'on imaginera sans peine dans chaque cas : la figure 392 représente celle qui vient d'être appliquée avec succès à Paris, et où l'on a fait usage de la soupape Decœur, grâce à laquelle le flotteur se trouve réduit à peu de chose, puisqu'il n'actionne qu'une petite soupape secondaire, dont l'ouverture détermine le fonctionnement automatique de la soupape principale.

§ 6.

ENTRETIEN DES CANALISATIONS D'EAU.

310. Influences diverses auxquelles sont exposées les canalisations d'eau. — Les canalisations d'eau sont exposées à certaines détériorations qui ont pour causes soit les pressions qu'elles supportent, soit les variations de température qu'elles éprouvent, soit les actions chimiques et mécaniques résultant de l'écoulement de l'eau d'une part, et d'autre part, du contact de l'air ou de la terre humide.

Les grandes pressions fatiguent évidemment les conduites, et il ne faut pas en conséquence les accroître inutilement, ni dépasser les limites ordinaires sans prendre de précautions spéciales, d'autant qu'il y a toujours à compter avec les effets de *surpression*, conséquences des manœuvres intempestives ou brutales ou de la présence de l'air, et qu'on confond sous la dénomination de *coups de bélier*. Elles ont pour résultat de

provoquer des *fuites* soit par les joints qui se déboîtent, soit par les tuyaux mêmes, qui se fissurent et arrivent parfois à se rompre après une longue durée par suite de l'allongement continu de fentes d'abord insignifiantes.

Les changements de température, provenant soit du sol, qui n'en est pas toujours absolument exempt à la profondeur relativement faible où l'on pose les tuyaux, soit de l'eau même, qui peut être distribuée tantôt froide tantôt chaude, sont extrêmement nuisibles à la conservation des conduites. Les mouvements qui en résultent doivent autant que possible ne pas être contrariés, sans quoi ils donnent lieu à des ruptures : au reste, même lorsqu'ils s'effectuent librement, il arrive souvent que des fuites en sont la conséquence. On ne doit donc pas s'étonner de la fréquence toute particulière des fuites et des ruptures de tuyaux aux changements de saisons, soit au printemps, soit à l'automne. L'effet le plus redoutable des changements de température est la *congélation*, qui, en raison de la propriété de l'eau d'augmenter de volume en se solidifiant, amène infailliblement des ruptures : aussi ne saurait-on prendre trop de précautions pour mettre les canalisations dans toutes leurs parties à l'abri de la gelée.

Le sol, suivant son degré d'humidité et sa composition même, l'air confiné des égouts, saturé d'eau et chargé de principes divers, ne tardent généralement pas à produire sur la surface externe des tuyaux en fonte ou en fer une action plus ou moins oxydante, qui détermine la production d'une couche de rouille. Tant que la rouille forme seulement une croûte superficielle sans épaisseur, elle n'a point d'inconvénient ; mais quelquefois elle gagne de proche en proche, en arrive à réduire sensiblement l'épaisseur du métal sain et résistant, et finit par détruire les pièces ou par les faire mettre au rebut. Ces effets seraient accélérés dans les égouts, qui recevraient des eaux chaudes ou acides.

Les racines des plantes qui courent dans le sol à la recherche des parties humides parviennent quelquefois à pénétrer dans les conduites en poterie ou en ciment ; elles y prennent alors un développement exceptionnel au point de les obstruer complètement dans certains cas.

A l'intérieur des conduites, suivant la composition de l'eau qu'elles reçoivent, la paroi se recouvre de dépôts plus ou moins abondants et de nature variée ; d'autres fois elle est attaquée et rongée par l'eau ; ou il se produit des végétations, etc., d'où peuvent résulter soit l'obstruction plus ou moins rapide, soit la destruction des conduites, en même temps que des changements fâcheux dans la composition ou les qualités de l'eau.

311. Effets du passage de l'eau dans les conduites. — Les *dépôts* sont l'effet le plus ordinaire du passage de l'eau dans les conduites. Quand elle contient des matières en suspension, de la vase ou du sable par exemple, les particules, entraînées partout où il y a de la vitesse,

s'arrêtent au contraire dans les endroits où la vitesse manque, et où se produisent des remous, pour y former de légers *dépôts boueux* non adhérents, que le moindre changement dans la direction des filets liquides, résultat d'une manœuvre quelconque, suffit à détruire, en donnant lieu à des troubles momentanés dont on ne s'explique pas tout d'abord la cause. Certaines matières en dissolution, les matières calcaires en particulier, se déposent sur toute l'étendue des parois, et y forment une couche solide, le plus souvent rugueuse ou vermiculée : lorsqu'une circonstance particulière en favorise la production, les *dépôts adhérents* peuvent prendre un développement tel qu'ils en viennent peu à peu à réduire considérablement la section libre de la conduite et même à l'obstruer complètement. D'ordinaire ils constituent seulement une couche d'un blanc sale ou jaunâtre, qui va s'épaississant constamment, et où dominent les carbonates de chaux et de magnésie, avec des traces de sulfates, de chlorures, de nitrates, de silicates et une proportion variable de matières organiques. Ils ont pour conséquence tout au moins d'augmenter le frottement dans les tuyaux par suite de la substitution d'une surface rugueuse à une surface lisse, de favoriser les dépôts de vase, enfin de gêner et parfois même d'empêcher la manœuvre des robinets et des appareils de distribution.

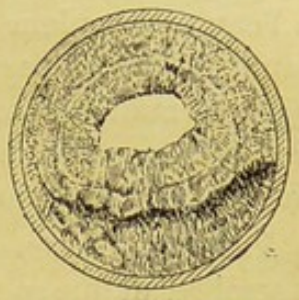


Fig. 393.

L'attaque de la fonte par l'eau peut donner lieu aussi à la production de dépôts intérieurs d'une tout autre nature, où la rouille domine mais qui contiennent presque toujours des matières terreuses et organiques. Ces *dépôts ferrugineux* communiquent parfois à l'eau une teinte rougeâtre et un goût particulier ; généralement ils ont pour conséquence une diminution de la section libre, qui peut même devenir considérable puisqu'on a observé à Aberdeen des réductions atteignant jusqu'à 54 0/0.

Quelquefois la fonte attaquée par l'eau se couvre rapidement d'excroissances ou *tubercules*, qui se développent au point d'obstruer les conduites ; au-dessous de ces excroissances, le métal devenu mou a pris l'aspect et la consistance de la plombagine. On a beaucoup discuté sur l'origine et les causes de la formation des tubercules, observés à Grenoble, à Cherbourg, à Saint-Etienne, à Utrecht, à Boston, et il paraît résulter des constatations les plus récentes à ce sujet que la présence des matières organiques végétales en favorise la production. Il ne se forme point de tubercules ni de dépôts ferrugineux en général avec les eaux chargées de sels, et en particulier avec les eaux incrustantes, qui ont pour effet de recouvrir la fonte d'une couche calcaire protectrice ; ce sont les eaux alcalines et aérées qui paraissent avoir l'action la plus rapide sur le métal ; certaines eaux saumâtres déterminent aussi, dans des conditions assez mal connues d'ailleurs, le ramollissement de la fonte. Le contact de

l'air humide, qui remplace souvent l'eau dans les conduites soumises au régime de la distribution intermittente, est essentiellement favorable à l'oxydation des surfaces métalliques et à la formation des dépôts ferrugineux.

Bien que la vie végétale et animale s'accommode assez mal de la pression à laquelle l'eau est soumise dans les conduites et de l'obscurité qui y règne, on y trouve néanmoins de temps à autre, en particulier dans les parties en cul-de-sac où l'eau reste stagnante, des végétations d'aspect spongieux, des coquilles, etc.; des organismes microscopiques s'y développent aussi dans certains cas, c'est ainsi qu'on a observé à Berlin, à Lille, une véritable invasion de la Crenothrix qui communique à l'eau une couleur rougeâtre analogue à celle de la rouille. Ces faits se produisent plus particulièrement, cela se conçoit, dans les eaux très chargées de matières organiques ; il en résulte assez fréquemment que le liquide acquiert un goût détestable et une odeur caractéristique qui doivent le faire rejeter de la consommation.

Par suite de ces effets divers du passage de l'eau dans les conduites, il semblerait que sa composition chimique et micrographique dût éprouver des modifications sensibles après un parcours de quelque longueur dans la canalisation. Il n'en est rien cependant ; et les analyses faites à Paris sur des échantillons d'eau puisés aux réservoirs et en divers points de la distribution n'ont pas révélé de changements appréciables. On s'en rend compte aisément du reste, si l'on remarque que les effets qui viennent d'être signalés se produisent avec une lenteur très grande, en général, et supposent l'écoulement de quantités d'eau considérables.

312. Surveillance et entretien courant des canalisations d'eau. — Les obstructions totales ou partielles et les fuites sont les conséquences les plus ordinaires des détériorations auxquelles les conduites d'eau sont exposées. Des baisses de pression persistantes révèlent les grandes diminutions de section résultant de dépôts intérieurs; l'apparition de l'eau à la surface du sol, des tassements, des infiltrations, les fuites importantes. Mais très souvent, avant qu'aucun signe extérieur ait éveillé l'attention, les dépôts sont devenus assez abondants pour rendre difficile sinon impossible la manœuvre des robinets ou autres appareils; et, d'autre part, il n'est pas de distribution d'eau qui soit à l'abri de pertes considérables par l'effet de fuites invisibles et très multipliées. La surveillance, dont toute canalisation doit être l'objet, consistera donc surtout dans la recherche des fuites et l'observation du progrès des dépôts intérieurs ; le rôle de l'entretien sera de maintenir les conduites en bon état de service et d'en prolonger la durée, en luttant incessamment contre ces effets inévitables.

Il convient de recommander des chasses fréquentes pour l'entraînement des dépôts boueux, des végétations et des coquilles, la manœuvre pério-

dique des robinets et appareils pour empêcher le tartre de s'y mettre et les tenir toujours prêts à fonctionner, etc.

On peut d'ailleurs prendre d'avance certaines précautions: ainsi l'enduit de coaltar, dont les tuyaux de fonte sont ordinairement recouverts, a pour effet, soit de protéger jusqu'à un certain point le métal contre l'attaque de l'eau, soit d'empêcher l'adhérence des dépôts calcaires ; de même on prévient les effets de la gelée en vidant durant les jours froids les portions de conduites qui y seraient trop exposées, ou en les protégeant par un revêtement non conducteur de la chaleur. En déterminant un petit écoulement continu qui assure le renouvellement de l'eau et s'oppose à l'abaissement de la température, on réussit également à empêcher la congélation. Enfin, quand les conduites sont en galerie, on en profite pour renouveler périodiquement le goudronnage extérieur qui les défend contre la rouille, mais en se servant de la glu marine, qui s'emploie fort bien à froid, au lieu du coaltar dont l'application à chaud ne serait pas possible dans ce cas.

313. Réparations des conduites et appareils. — Les réparations que réclament le plus fréquemment les conduites ont pour objet de faire disparaître les petites fuites par matage des joints au plomb. Quand elles sont en galerie, rien n'est plus aisé ; et, par des visites périodiques, on peut reconnaître les fuites et les supprimer, pour ainsi dire dès qu'elles se produisent. C'est plus difficile avec les conduites en terre : il faut ouvrir des tranchées, et souvent se livrer à des recherches, pour déterminer la position exacte de la fuite qu'une circonstance quelconque est venue révéler.

Si la fuite est trop importante, il est parfois nécessaire, même pour un simple matage, d'interrompre le service afin d'annuler la pression. Cette mesure s'impose quand, le plomb ayant été chassé au dehors, il devient indispensable de refaire le joint: il faut alors vider la portion de conduite intéressée, démonter entièrement le joint en mauvais état, et en faire confectionner un nouveau.

Lorsqu'il y a eu rupture, après avoir vidé la conduite, on retire et on remplace la pièce cassée: cette opération s'effectue sans difficulté aucune lorsque les joints sont à brides ou à bagues ; mais, si ce sont des emboîtements, il faut briser et enlever par morceaux la pièce cassée, démonter à chaud les joints contigus, et remplacer au moins un des joints à emboîtement par un manchon. Quelquefois un tuyau brisé peut être conservé en partie ; on en détache le bout avarié en faisant sur place et au burin une *coupe* aussi régulière que possible. La vis des robinets-vannes est particulièrement exposée aux ruptures ; on la remplace, sans démonter les joints du robinet, en retirant la calotte mobile et la vanne.

Ces diverses réparations, qui se renouvellent très souvent dans une canalisation un peu étendue, demandent à être effectuées promptement : il faut donc avoir toujours le nécessaire sous la main, outillage, pièces

de rechange et personnel. Toute distribution d'eau doit être pourvue en conséquence d'un *dépôt* contenant un approvisionnement de pièces de fonte et d'appareils de tous les types ; et des *fontainiers,* pour les manœuvres d'entretien, des ouvriers *plombiers,* pour les réparations, doivent être toujours prêts à entreprendre un travail quelconque au premier signal. Les manœuvres sont effectuées habituellement par des ouvriers en régie, attachés directement au service de l'exploitation ; les réparations s'exécutent tantôt en régie, tantôt par voie d'entreprise. A Paris l'entretien général, y compris la manœuvre périodique des appareils, est donné à l'entreprise et par adjudication.

« L'art de faire et de poser les conduites, disait Dupuit il y a quelque « trente ans, a reçu de nombreux perfectionnements, de sorte que les « avaries deviennent de plus en plus rares[1] ». Et il constatait qu'à Paris, où le sol est en général un remblai plus ou moins bouleversé, il se faisait à peine une réparation par kilomètre et par an. La proportion a bien diminué encore depuis cette époque par suite du report de la majeure partie des conduites dans les égouts. Aussi l'entretien ne coûte-t-il que 0 fr. 08 par mètre linéaire et par an pour les conduites de tous diamètres jusqu'à $1^m,10$.

314. Enlèvement des dépôts adhérents. — Dans beaucoup de canalisations d'eau, l'intérieur des conduites se recouvre de dépôts adhérents ; mais, partout où l'eau a été convenablement choisie, ces dépôts ont assez peu d'importance pour qu'on n'ait guère à s'en préoccuper. Il suffit d'en tenir compte d'avance dans le calcul des sections des tuyaux ; et si, à la longue, il se produit en certains points quelques diminutions de débit, on y remédie par la pose de conduites supplémentaires.

Mais il y a des cas où les dépôts deviennent vite une cause grave de gêne dans le service et où il est par suite indispensable de prendre des mesures pour les enlever ou les combattre.

Un moyen, auquel on a eu parfois recours, mais qui est extrêmement onéreux, consiste à déposer les conduites et à exposer successivement les tuyaux au feu, pour provoquer le fendillement de la couche calcaire, qui se détache alors par plaques ou lamelles. Quand il s'agit de conduites de très grand diamètre, il n'est pas impossible de procéder comme pour le détartrage des chaudières : on laisse les conduites en place, et des ouvriers, y pénétrant, vont nettoyer progressivement les parois intérieures, en faisant tomber à coups de marteau et par petites parcelles les dépôts qui les recouvrent.

Une autre méthode, d'application plus facile, comporte l'introduction dans les conduites d'eau acidulée, qui attaque le dépôt et le dissout. C'est seulement après un certain nombre de tâtonnements qu'on trouve la proportion exacte d'acide, car il en faut assez pour obtenir un nettoyage

1. *Traité de la conduite et de la distribution des eaux.* 2e édit., p. 337.

complet, et point trop afin de ne pas provoquer l'attaque du métal. Un rinçage énergique à l'eau pure doit terminer l'opération, de manière à faire disparaître toute trace d'acide avant la remise en service.

L'emploi d'engins mécaniques, d'outils, que l'on fait passer à l'intérieur des conduites, constitue un troisième procédé, le plus usité peut-être. Tantôt ces outils sont actionnés au moyen de chaînes ou de cordes : à Carlsruhe, à Nuremberg des kilomètres de conduites ont été nettoyés de la sorte. Tantôt on utilise la pression même de l'eau : l'appareil, ingénieusement disposé, forme piston, et l'eau le chasse devant elle avec assez de force pour le faire avancer, tout en grattant les parois au moyen de couteaux d'acier et les nettoyant à l'aide de brosses ; souvent même, comme on l'a fait à Durham, à Dundee, à Bradford, l'eau en pression est utilisée pour faire tourner l'outil autour de son axe et en augmenter l'efficacité. La figure 394 représente l'engin de ce type qui a été employé à Bradford ; les lames hélicoïdales, chargées du grattage des parois, y reçoivent un mouvement de rotation rapide, tandis que l'ensemble progresse lentement, avec une vitesse à peu près égale à celle d'un homme au pas ; une grande flexibilité y a été recherchée, pour faciliter le passage des parties courbes ; le bruit, que fait l'appareil durant son travail, permet d'en suivre la marche sans peine, et, s'il s'arrête, le point où l'obstruction s'est produite peut se déterminer par la méthode acoustique appliquée avec succès aux tubes pneumatiques du service des télégraphes.

Fig. 394.

§ 7.

EXPLOITATION DES SERVICES D'EAU

315. Manœuvre normale des appreils. — L'exploitation d'un service d'eau comporte des manœuvres, dont le nombre varie beaucoup avec l'importance et la complexité du réseau et aussi avec le mode de distribution. D'une part en effet, il faut, selon les besoins, mettre en communication avec les réservoirs ou isoler les diverses parties de la canalisation, faire les arrêts d'eau nécessaires pour les prises, les réparations, les prolongements de conduites, les travaux en général, opérer de temps à autre des chasses, vider ou remplir certains biefs, etc., quel que soit d'ailleurs le système adopté pour la répartition de l'eau ; et d'autre part, tandis que, pour la distribution continue, tous les robinets sont tenus normalement ouverts, la distribution intermittente en implique au contraire l'ouverture périodique, puisqu'il y a lieu de procéder régulièrement, à jours et

heures fixes, à la mise en service successive de chacune des fractions du réseau.

Toutes ces manœuvres doivent être exécutées en parfaite connaissance de cause par des agents très au courant de la disposition et de l'usage des diverses conduites, afin de ne pas courir le risque d'erreurs fâcheuses qui peuvent avoir parfois des conséquenses graves. Souvent il y a un ordre déterminé à suivre : pour vider une conduite par exemple, après l'avoir isolée par la fermeture des robinets d'arrêt, il faut ouvrir les décharges, puis les ventouses ; pour la remplir, fermer les décharges, ouvrir les nourrices puis les robinets d'arrêt, et laisser les ventouses ouvertes tant qu'il en sort de l'air même mélangé d'eau.

On doit toujours procéder d'ailleurs sans brutalité, afin de ménager les appareils et d'éviter autant que possible les coups de bélier dans les conduites. Les robinets-vannes s'ouvrent forcément avec lenteur grâce à l'emploi de la vis ; si parfois quelqu'un d'entre eux présente de la résistance, il convient de ne pas chercher à la vaincre en exagérant l'effort au risque de rompre la vis par torsion ou de briser par la compression le corps du robinet. Quant aux robinets à boisseau, dont le mouvement complet s'opère en un quart de tour, ils sont très exposés à être manœuvrés trop vite ; en cas d'incendie par exemple, les pompiers les ouvrent d'ordinaire assez brusquement et les ferment de même, ce qui n'est pas sans amener des ruptures de tuyaux ou des déboîtements de joints, qu'on éviterait peut-être en adaptant aux gros modèles tout au moins un frein modérateur réglant le temps de la manœuvre.

316. Présence de l'air dans les conduites. Effets de la vidange et du remplissage. — Toute vidange de conduite, volontaire ou accidentelle, a pour conséquence une introduction d'air ; et, quelques précautions qu'on prenne ensuite pour l'évacuation de cet air au moment du remplissage, malgré l'ouverture des ventouses et des appareils de distribution le plus convenablement placés, il est généralement impossible d'éviter qu'il ne se cantonne en partie en certains points de la canalisation, où les courants d'eau l'entraînent en petites bulles ou même en masses d'assez gros volume. A plus forte raison ce fait se produira-t-il quand, pour parer aux conséquences d'une fuite importante, on s'empresse de fermer les robinets d'arrêt sans avoir le temps de prendre les précautions d'usage. D'autre part, comme sa solubilité dans l'eau varie avec la pression, l'air se dégagera nécessairement partout où, pour un motif quelconque, la pression se trouvera diminuée. Il y a donc toujours, on peut le dire, de l'air emprisonné dans les conduites : c'est un fait inévitable dans les distributions d'eau, et dont il ne faut pas oublier de tenir compte dans toutes les installations.

Au reste, la présence d'air dans les conduites n'offre pas ordinairement d'inconvénients graves : il gagne peu à peu les points hauts, et finit par s'échapper à travers quelque orifice de puisage ; tout le monde

a entendu le bruit caractéristique que font les bulles d'air dans les petits tuyaux de distribution intérieure et observé des robinets qui *crachent* avant de donner de l'eau, c'est-à-dire qui laissent échapper soit de l'air soit un mélange d'air et d'eau. Mais il peut se rencontrer des cas où l'intervention de l'air produirait des effets fâcheux ; il serait fort imprudent par exemple de mettre directement en relation avec une canalisation d'eau, sans aucun organe protecteur intermédiaire, des appareils destinés à fonctionner avec l'eau en pression, et où la moindre introduction d'air pourrait causer des troubles, des désordres, provoquer des accidents.

Il convient d'observer aussi qu'à certains moments la pression peut disparaître complètement dans une conduite et faire place à un *vide relatif*, par suite d'un tirage anormal y déterminant un écoulement très rapide : c'est ce qui arrive notamment dans les cas de fuites considérables occasionnées par la rupture d'un tuyau, d'ouverture simultanée d'un grand nombre de bouches d'incendie, de remplissage d'une grosse conduite au moyen de tuyaux de petit diamètre. L'eau cessant alors d'occuper entièrement la conduite, y coule comme en conduite libre, et détermine un courant, dont la conséquence est une aspiration dans tous les branchements voisins. En pareil cas, si l'on vient à ouvrir un orifice de puisage quelconque, non seulement on ne voit pas l'eau sortir, mais l'air extérieur s'y engouffre ; et si, par inadvertance, on laisse l'orifice ouvert, l'eau s'en échappe tout à coup quand la pression se rétablit. L'appel inopinément produit de la sorte peut déterminer, soit des *retours d'eau* dans les conduites par les branchements qui aboutissent à des réservoirs particuliers et ne sont pas pourvus d'appareils s'opposant à un renversement du sens de l'écoulement, soit des *rentrées d'air* mélangé de gaz plus ou moins suspects par tous ceux qui débouchent librement dans des espaces fermés où l'atmosphère aurait été accidentellement viciée. Toute alimentation se trouve alors interrompue ; et, si l'on a commis l'imprudence de brancher sur la canalisation des appareils exigeant la constance absolue de l'écoulement, on est exposé à des accidents sérieux par suite du manque d'eau subit et imprévu qui en résulte. C'est là encore un phénomène inévitable dans les canalisations d'eau, et auquel il faut toujours s'attendre, si l'on ne veut éprouver parfois de fâcheuses surprises.

317. Recherche des fuites. — Conséquences de toute dégradation des conduites, causes de dommages de toutes sortes, les fuites sont dans les services d'eau l'ennemi qu'il faut toujours poursuivre et combattre sans relâche.

Tantôt c'est un gros tuyau qui se rompt et qui livre passage à un torrent d'eau noyant et détruisant tout sur son passage ; tantôt ce sont des infiltrations lentes qui amènent un tassement du sol, compromettent la solidité des conduites aux abords, envahissent les caves voisines, ruinent

les chaussées, minent les fondations des bâtiments, provoquant des plaintes et des réclamations légitimes, et motivant l'allocation d'indemnités aux intéressés.

Les fuites imperceptibles que rien ne révèle au dehors sont quelquefois tout aussi redoutables. Elles peuvent donner lieu, en effet, à des pertes d'eau dont au premier abord on apprécie mal l'importance. Les ingénieurs américains admettent que ces pertes atteignent parfois la moitié de l'eau déversée dans la canalisation et dépassent généralement le quart[1]; d'après M. Deacon, dans les villes anglaises, sur 100 litres distribués, 35 sont en général absorbés par les pertes continues et invisibles, 35 par les pertes superficielles, et 30 seulement sont réellement utilisés. Quelque énormes que paraissent ces proportions, on se les explique cependant sans peine, si l'on remarque, d'une part, que l'écoulement par les fuites se produit en vertu de la pression totale et qu'il est incessant, et si l'on suppute, d'autre part, quel peut être le nombre des joints incomplètement étanches et des robinets mal rodés.

Fig. 395.

Un des grands soucis de l'exploitation doit donc être de rechercher les fuites et de les faire disparaître, tant à cause des dangers que des dépenses supplémentaires et inutiles qu'elles occasionnent.

Il y a surtout un intérêt majeur à être immédiatement averti des grandes fuites, afin de prendre sans retard les mesures qu'elles comportent, et d'intervenir à temps pour limiter les dégradations ou les pertes d'eau. La baisse de pression qui se produit aussitôt peut aisément fournir une indication utile, et les *manomètres* installés d'ordinaire en un ou plusieurs points du réseau les signalent presque toujours. Si la canalisation est étendue, il faut, pour avoir des points de repère, multiplier les

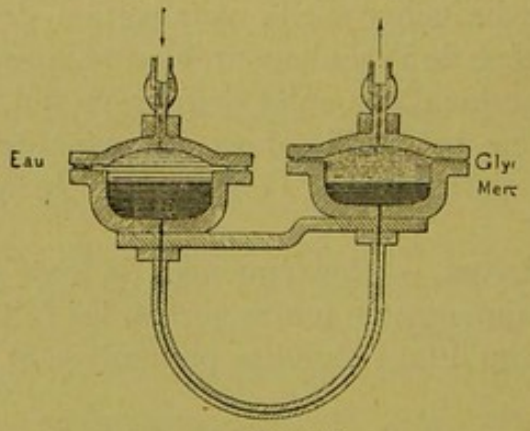


Fig. 396.

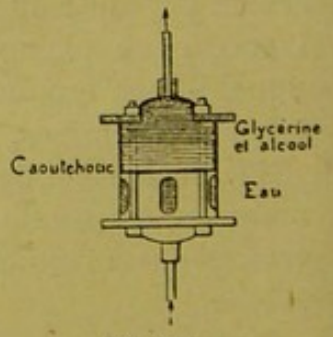


Fig. 397.

manomètres : à Paris, par exemple, l'insuffisance de ceux qui étaient

1. Nichols. *Water supply*, p. 195.

installés dans les divers postes de service a conduit à en poser un nombre beaucoup plus considérable sur la voie publique, en se servant des candélabres à gaz comme supports ; on a d'ailleurs ingénieusement tourné la difficulté que présentait leur établissement au point de vue de la gelée, en remplaçant l'eau dans le manomètre et la partie du tube de communication qui fait saillie au-dessus du sol par un liquide incongelable (mélange de glycérine et d'alcool), auquel la pression se trouve transmise par l'intermédiaire, soit d'une double cuve à mercure (*fig.* 396), soit d'une simple membrane en caoutchouc (*fig.* 397). Ces manomètres multipliés ont d'ailleurs l'avantage de faciliter des observations régulières sur les variations de la pression, dont on peut tirer un utile parti pour la surveillance, l'exploitation et l'amélioration progressive du réseau : en y ajoutant des enregistreurs, on pourrait même obtenir des graphiques représentant la loi de ces variations. Enfin, on peut transformer en véritables *avertisseurs de fuites* ceux qui sont placés dans les postes de service, par l'addition d'une sonnerie d'alarme, réglée de manière à fonctionner dès que la pression tombe au-dessous d'une limite déterminée.

La recherche des petites fuites sur les conduites en terre est plus délicate, et comme elle n'est pas indispensable, tant qu'il n'en résulte point de dégâts et que l'alimentation même réduite par les pertes invisibles suffit aisément à tous les besoins, les exploitants l'entreprennent rarement, malgré l'avantage qu'ils auraient parfois à diminuer l'importance des pertes. Il convient de reconnaître, du reste, que cette recherche coûte assez cher, et qu'elle ne saurait jamais donner un résultat complet, car ce serait une utopie que de prétendre arriver à la suppression absolue des fuites. Même en galerie, où la visite est facile, où la moindre goutte qui tombe produit un bruit perçu sans peine à distance, cette suppression n'est pas possible : un joint qui vient d'être maté d'un côté peut recommencer à perdre de l'autre quelques instants après, un robinet nouvellement rodé fuit de nouveau bien souvent au bout de quelques jours, le moindre changement de température détermine une multitude de fuites nouvelles, quelques-unes même sont intermittentes et disparaissent momentanément pour reparaître plus tard ; il faut se résigner à négliger les moindres, et à ne supprimer que les principales.

318. Méthodes employées pour restreindre les pertes d'eau par les fuites invisibles. — Depuis un certain nombre d'années, la question des fuites invisibles et des pertes qu'elles occasionnent a préoccupé les ingénieurs spécialistes, en Angleterre surtout, puis en Amérique et en Allemagne. La consommation augmentant rapidement partout en raison du mouvement d'opinion provoqué par les hygiénistes, beaucoup d'alimentations anciennes se sont trouvées tout à coup insuffisantes, et il a paru nécessaire de les améliorer ou de les transformer entièrement. Or, toutes les fois qu'on a cherché à se rendre compte du rapport de la consommation réelle à l'alimentation, on a été frappé de l'importance des fuites

invisibles jusqu'alors entièrement négligées, et l'on a entrevu la possibilité d'augmenter notablement les ressources par la simple diminution des pertes qui résulterait de la suppression de la majeure partie de ces fuites.

En 1859, à Norwich, on n'a pas hésité à remplacer toutes les conduites du réseau, à refaire la canalisation tout entière, uniquement pour venir à bout des fuites, qui absorbaient à elles seules une fraction très consirable du volume d'eau disponible. Ce procédé fort dispendieux n'est pas à recommander, d'autant que son efficacité serait généralement limitée à une période d'assez courte durée, si la mesure n'était pas complétée par une surveillance plus attentive et un entretien plus soigné.

Il est bien préférable de recourir à l'une des méthodes mises en pratique depuis peu pour le contrôle permanent de la distribution.

A ces méthodes peut se rattacher l'introduction systématique des *compteurs*. Les compteurs, dont l'emploi tend à se propager beaucoup, rendent la canalisation publique absolument indépendante des distributions établies chez les particuliers, et permettent d'exercer sur ces dernières une surveillance efficace, fort bien acceptée d'ailleurs par le public qui ne se refuse pas à payer ce qu'il est sûr d'avoir consommé. Avec les compteurs, l'exploitant n'a plus à se préoccuper des pertes d'eau par les canalisations intérieures des maisons, qui constituent souvent la plus grosse part de la perte totale, et il restreint la recherche des fuites à l'étendue du réseau des conduites publiques. Mais, dans certaines villes, on a fait des objections à l'introduction des compteurs, auxquels on a reproché, soit d'ajouter une dépense de plus et assez importante à la somme déjà considérable des frais que comporte l'installation de l'eau dans les maisons, soit de faire obstacle à l'augmentation progressive de la consommation, si désirable au point de vue de l'hygiène.

A défaut de compteurs, il faut recourir à l'inspection systématique des installations intérieures, et lui donner pour sanction l'obligation de réparer immédiatement toute défectuosité reconnue, de remplacer les appareils susceptibles de donner lieu à des écoulements continus, d'employer seulement ceux qui ont été officiellement admis parce qu'ils n'ont pas ce défaut, ou qui sont disposés pour limiter certaines consommations au nécessaire, celle des water-closets par exemple. Ce système, beaucoup plus vexatoire que l'introduction des compteurs, serait, en général, beaucoup moins facilement accepté en France ; mais il est très répandu en Angleterre, et c'est pour en rendre l'application efficace qu'ont été imaginés divers procédés, au moyen desquels les agents chargés de l'inspection parviennent à localiser les fuites et même à en apprécier l'importance.

On a depuis longtemps observé qu'en appliquant l'oreille contre la clé de manœuvre posée sur le chapeau d'un robinet ouvert, on perçoit distinctement le bruit de l'écoulement de l'eau à travers le robinet, et que ce bruit varie avec la vitesse et le débit : de là une méthode acoustique

qui a pour base l'auscultation des robinets pendant la nuit, à l'heure où la consommation est presque nulle, et où le vacarme de la rue a cessé. Après s'être assuré que toutes les prises d'eau sont fermées sur la portion de réseau commandée par un robinet déterminé, on observe s'il se produit néanmoins un écoulement à travers ce robinet, et, dans le cas où le bruit révèle en effet un passage d'eau, on conclut à l'existence de fuites, et on en entreprend la recherche. Le procédé est rendu plus sensible, soit par la fermeture partielle des robinets, car le son est renforcé lorsque la section d'écoulement diminue, soit par la substitution du *stéthoscope*, sorte de tube creux en acier qui vibre plus facilement, à la lourde clé de manœuvre. On a même eu l'ingénieuse idée d'y approprier le *microphone*, dont l'emploi permet de percevoir des écoulements d'eau presque insignifiants.

M. Church, ingénieur de l'aqueduc du Croton (New-York), a basé une méthode analogue sur l'emploi d'un appareil de son invention auquel il a donné le nom de *detector*. Il remplace le robinet d'arrêt ordinaire de chaque branchement par un robinet à trois eaux surmonté d'une tige creuse sur laquelle on peut visser un manomètre. Rien n'est plus facile alors que de mettre le manomètre en communication avec le branchement sur lequel toutes les prises ont été préalablement fermées ; s'il y a baisse de pression c'est qu'il existe des fuites. Alors il suffit de fermer

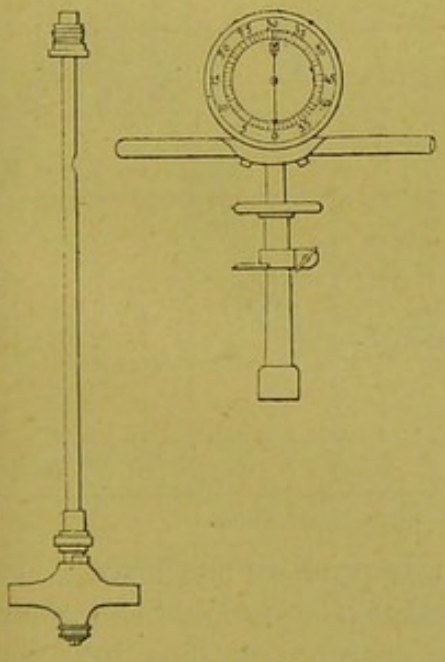


Fig. 398.

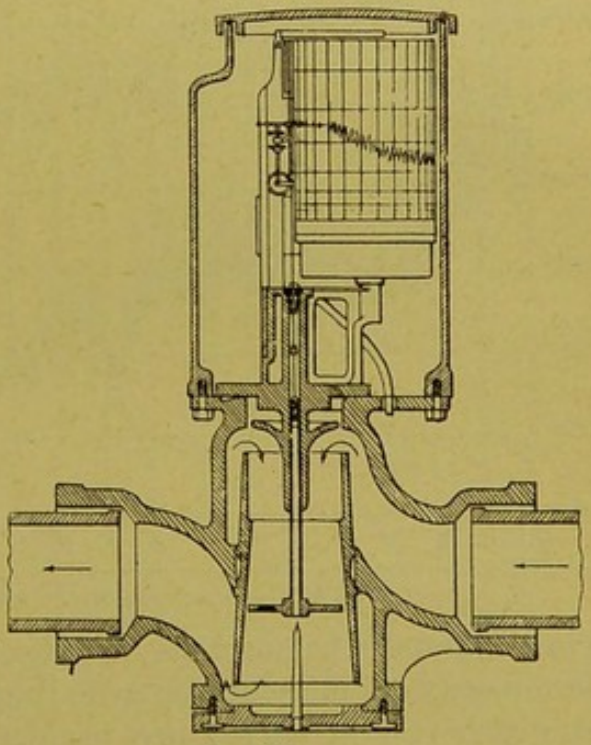


Fig. 399.

la communication avec la conduite principale pour déterminer le niveau des fuites ou tout au moins celui de la fuite inférieure. Des index et un vernier facilitent la lecture et rendent l'instrument assez sensible.

A Liverpool, M. Deacon, ingénieur en chef des eaux de cette ville, a

fait construire un appareil d'un autre genre qu'il a dénommé *compteur de pertes*, et qui, employé avec succès d'abord à Liverpool même, a trouvé depuis des applications dans d'autres villes. Cet appareil s'interpose sur le parcours d'une conduite principale, commandant une fraction de réseau parfaitement isolée du reste de la canalisation, et, dans cette position, il enregistre exactement toutes les circonstances de l'inspection faite par l'agent spécial dans le périmètre desservi par cette fraction du réseau. L'organe essentiel est un disque horizontal, qui se meut dans un cône vertical; l'eau, devant passer entre la paroi du cône et la tranche du disque, déplace ce dernier, qui s'abaisse plus ou moins suivant le débit; le mouvement du disque est d'ailleurs transmis à un crayon, qui l'enregistre sur une feuille de papier, enroulée autour d'un tambour mû par un mouvement d'horlogerie, et portant une graduation empirique qui donne les débits correspondant aux diverses indications du crayon. Lorsque l'appareil est en place et le réseau à examiner bien isolé, l'agent fait

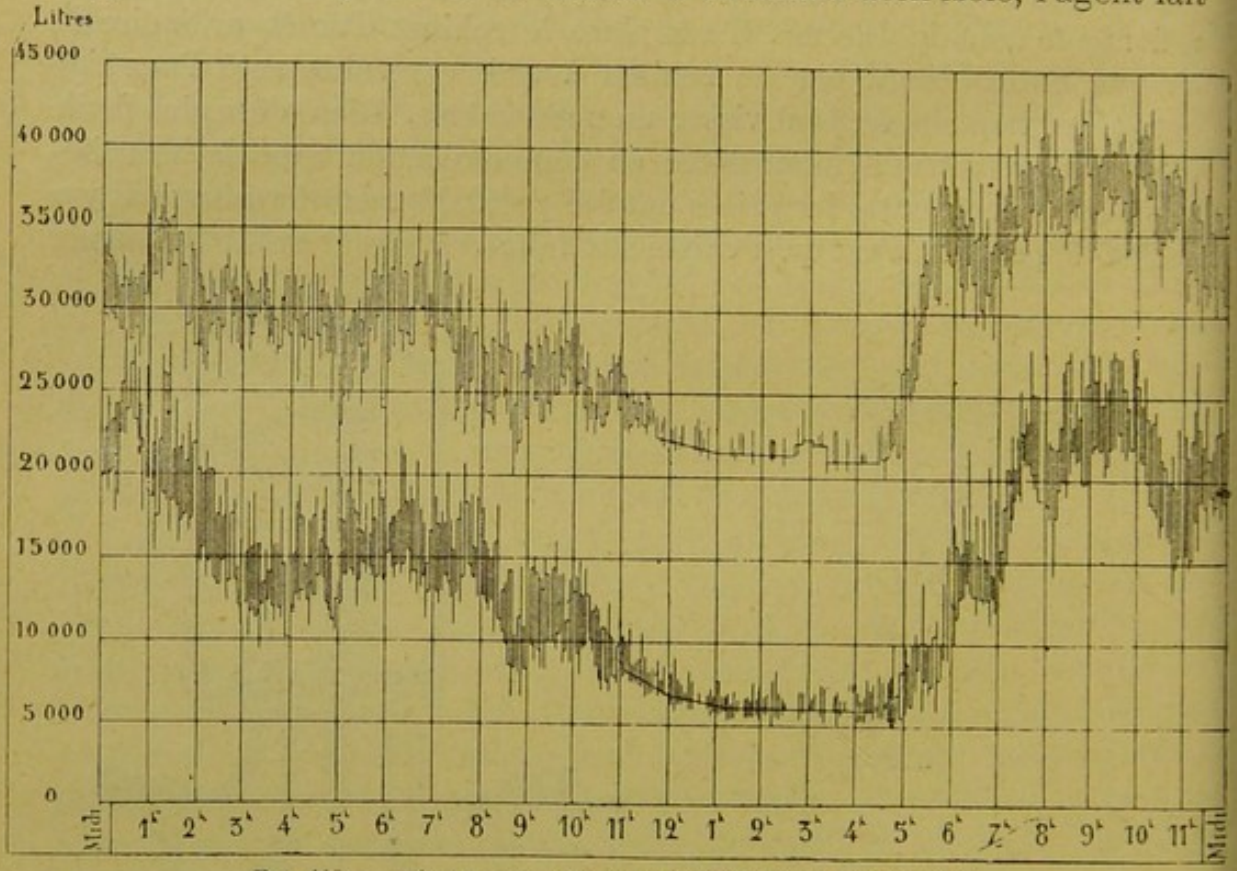


FIG. 400. — Diagrammes obtenus avant et après l'inspection.

l'inspection des robinets de branchement ou de prise au stéthoscope, et ferme ceux qui laissent passer de l'eau, en notant chaque fois l'heure sur son carnet; puis, sa tournée terminée, il la reprend en sens inverse, rouvrant successivement tous les robinets qu'il a fermés d'abord, dans le même ordre et en constatant également l'heure de chaque opération; la comparaison du carnet et du diagramme relevé par l'appareil montre quelle est la perte par chaque robinet, et le débit du compteur au moment où tous les robinets étaient fermés représente les fuites sur la conduite

principale. Les renseignements ainsi recueillis dans l'inspection de nuit servent de point de départ à une inspection de jour, qui permet de déterminer les causes des fuites constatées et d'y porter remède.

D'après M. Deacon, le compteur de pertes a permis à la distribution d'eau de Liverpool, dont l'insuffisance paraissait manifeste, de suffire aux besoins sans cesse croissants de la population, bien qu'elle se soit augmentée depuis de 104.000 habitants. Dans des essais à Glasgow et à Boston on aurait obtenu des réductions de 30 et de 35 pour 100 dans la consommation. L'appareil Deacon n'a malheureusement pas une levée proportionnelle au débit, de sorte qu'il faut, pour le graduer, procéder à un tarage délicat, et que l'approximation obtenue n'est pas toujours la même. Il a d'autre part le grand avantage de s'appliquer non seulement à la recherche des pertes par les branchements et les installations particulières, mais aussi de celles occasionnées par les conduites publiques secondaires, plus spécialement il est vrai dans les réseaux ramifiés et les services intermittents, car il est difficile d'isoler un périmètre donné dans les réseaux maillés et à distribution constante.

CHAPITRE XIII

SERVICE PUBLIC

L'EAU SUR LA VOIE PUBLIQUE ET DANS LES PROMENADES

SOMMAIRE :

§ 1er. *Généralités.* — 319. Usages publics de l'eau. — 320. Emplacements et dispositions générales des appareils publics. — 321. Dépense d'eau. — 322. Entretien des appareils. — 323. Précautions contre la gelée.
§ 2. *Appareils de puisage.* — 324. Puisage de l'eau destinée à tous les usages. — 325. Puisage de l'eau réservée à la boisson. — 326. Puisages temporaires ou spéciaux.
§ 3. *Appareils de lavage.* — 327. Lavage des caniveaux. — 328. Bouches de lavage. — 329. Lavage des urinoirs et des latrines publiques. — 330. Chasses dans les égouts.
§ 4. *Appareils d'arrosage.* — 331. Arrosage des chaussées au tonneau. — 332. Arrosage à la lance. — 333. Arrosage des plantations et des pelouses.
§ 5. *Appareils de secours d'incendie.* — 334. Raccords d'incendie. — 335. Bouches d'incendie pour pompes à vapeur. — 336. Organisation assurant la permanence des secours.
§ 6. *Fontaines décoratives et pièces d'eau.* — 337. Fontaines de puisage ornées ou monumentales. — 338. Fontaines décoratives. — 339. Jets d'eau. Gerbes. — 340. Cascades et rivières artificielles. — 341. Grandes pièces d'eau.

§ 1er.

GÉNÉRALITÉS

319. Usages publics de l'eau. — L'eau distribuée par un réseau de conduites dans les diverses parties d'une ville trouve d'abord son utilisation sur la voie publique.

Un certain nombre d'orifices y sont disposés pour le *puisage* et destinés à fournir aux habitants de l'eau pour la boisson et les usages domestiques; même dans les villes où l'eau est répartie jusque dans les maisons et où les abonnements sont nombreux, il est d'usage d'établir dans les rues des appareils, où le pauvre puisse venir puiser l'eau nécessaire à ses besoins, le passant se désaltérer. D'autres ont pour objet le lavage des caniveaux, l'arrosage des rues et des promenades, l'entraînement rapide

des immondices, le nettoyage des égouts, et concourent efficacement à la salubrité publique. Viennent ensuite ceux qui servent à l'extinction des incendies, et dont la multiplication permet de renoncer dans la plupart des cas à ces longues chaînes vivantes auxquelles il fallait recourir auparavant pour l'amenée de l'eau nécessaire au jeu des pompes. Quelques-uns enfin projettent l'eau dans l'atmosphère pour rafraîchir l'air et réjouir la vue tout à la fois, contribuant ainsi à l'embellissement général.

A ces divers emplois de l'eau sur la voie publique peuvent se rattacher encore les fournitures d'eau, pour la confection des maçonneries nécessaires à la construction des égouts ou autres travaux analogues, ou pour certains services spéciaux comme les lavoirs ou les bains publics, les marchés, les stationnements de voitures, etc.

Sans nous arrêter à ces derniers usages d'un caractère un peu exceptionnel qui rentrent assez souvent dans les attributions de certaines entreprises particulières, nous nous bornerons à passer en revue les appareils servant au *puisage,* au *lavage* et à l'*arrosage,* aux *secours d'incendie,* et à l'*ornement* des places ou des promenades publiques, c'est-à-dire ceux que l'on rencontre à peu près partout et qui constituent les organes essentiels du *service public.*

Au reste nous n'entreprendrons même pas la description détaillée des formes et des dispositions extrêmement variées que peuvent recevoir ces appareils; il suffira de donner quelques notions générales qui aideront dans chaque cas à faire parmi les combinaisons proposées un choix éclairé et judicieux.

320. Emplacements et dispositions générales des appareils publics. — Les appareils publics doivent être placés de manière que l'usage en soit commode et qu'il n'en résulte pas de gêne pour le voisinage; le maniement doit en être facile, la construction simple et robuste, et la résistance aussi grande que possible, car ils sont très exposés et aux intempéries et aux injures des passants.

Les emplacements choisis pour les recevoir doivent être bien en vue et facilement accessibles; dans les petites localités les fontaines de puisage sont disposées fréquemment aux carrefours ou sur de petites places; dans les grandes villes, où la circulation des voitures est considérable, on les établit de préférence sur les trottoirs, mais en évitant de gêner le passage des piétons et de porter l'humidité dans les maisons riveraines.

Tantôt ils sont enfermés dans des boîtes enfoncées dans le sol et dont le couvercle se trouve exactement au niveau du trottoir; tantôt ils font saillie et s'élèvent au contraire à quelque hauteur au-dessus du niveau du sol. De ces deux systèmes, le premier, moins commode pour l'emploi des appareils mais aussi moins gênant pour la circulation, convient particulièrement dans le cas où il s'agit d'orifices mis à la disposition des agents des services publics, qui peuvent être toujours munis des clés et autres engins nécessaires; tandis que le second s'impose pour

ceux qui sont destinés au public, et qu'il faut mettre mieux en évidence et plus à la portée de la main. Les boîtes arasées au niveau du sol doivent être pourvues de couvercles très solides, parfaitement assujettis, point glissants, n'oscillant pas sous le pied, et capables de résister aux tentatives inspirées par la malveillance; les appareils en saillie doivent tenir aussi peu de place que possible, sauf le cas où, appelés à concourir à l'ornementation, ils reçoivent au contraire des dimensions exceptionnelles et même parfois un aspect monumental.

Des dispositions spéciales sont nécessaires à l'effet d'éviter les projections désagréables pour les passants, et d'assurer l'écoulement de l'eau répandue sur le sol, qui en se congelant l'hiver deviendrait la cause d'accidents fréquents.

Toute complication doit être écartée : les manœuvres seront simples, faciles à comprendre et à effectuer; les pièces, aisément démontables, se prêteront sans peine aux nettoyages et aux réparations. L'emploi du bronze est à recommander souvent, parce qu'il se travaille aisément et résiste bien à l'influence de l'air humide; mais sa valeur tente souvent la cupidité et il faut quand on l'emploie se mettre en garde contre les vols.

321. Dépense d'eau. — L'eau, distribuée dans une ville, n'y a été amenée en général qu'au prix de sacrifices considérables; en conséquence, il ne faut pas la gaspiller, et la règle de tout service public bien organisé doit être qu'il n'y soit jamais fait de dépense d'eau inutile.

On n'admettra donc les écoulements continus, qui absorbent des volumes d'eau toujours importants, que dans les localités où l'eau est en assez grande abondance pour qu'il n'y ait pas à la ménager, comme il arrive dans certains villages, ou lorsqu'il s'agit de desservir des usages également continus, à moins que la main-d'œuvre nécessaire pour régler l'écoulement ne coûte plus cher que ne vaudrait l'eau économisée. Sauf ces cas exceptionnels, et en thèse générale, on se proposera de rendre l'usage de l'eau intermittent, mais sans renoncer à l'alimentation constante des appareils.

Ici un bouton ou un levier permettra le puisage facultatif; c'est le mode qu'il convient d'adopter pour les appareils destinés au public. Là, il faudra une clé spéciale; c'est le système qui sera préféré pour les appareils de lavage et autres, que les agents du service ouvrent et ferment chaque jour à des heures déterminées. Il leur sera d'ailleurs toujours recommandé de ne pas laisser perdre l'eau fournie par les appareils, par exemple de ne pas l'envoyer dans un caniveau sans qu'un ouvrier en profite pour le nettoyer au balai, et de ne pas employer un gros volume d'eau pour produire un effet insignifiant, comme il arrive quand, pour arroser une portion de chaussée, on puise à l'écope dans un caniveau où l'on fait ruisseler l'eau tout exprès.

Si, par ces recommandations, par les précautions prises pour régle-

menter soigneusement l'usage des appareils, on ne parvient pas à supprimer les abus d'une façon radicale, on restreint du moins le gaspillage à des proportions peu redoutables. Il ne faut pas voir là un rationnement de l'eau, mais seulement une répartition rationnelle ; que penser, en effet, d'une exploitation, où l'eau manquerait d'un côté tandis qu'on la répandrait de l'autre à profusion sans utilité véritable ?

322. Entretien des appareils. — Très exposés, comme nous l'avons fait remarquer, à des dégradations de toute nature, les appareils publics exigent beaucoup d'entretien, alors même qu'ils ont reçu des formes et des proportions convenables et qu'ils ont été parfaitement construits.

S'ils ne sont pas manœuvrés très souvent, il ne faut pas omettre de les visiter de temps à autre, de les nettoyer, de vérifier les robinets, raccords, etc., afin de les maintenir toujours en état de fonctionnement. Dans tous les cas, pour préserver de la rouille les parties en fonte ou en fer, il est indispensable de les recouvrir d'une couche protectrice, qui sera un enduit de coaltar ou de goudron pour les appareils placés au-dessus du niveau du sol, une peinture au minium et à l'huile pour ceux en saillie, un cuivrage galvanique analogue à celui qui est appliqué aux candélabres à gaz de Paris ou une peinture métallique pour les fontaines d'ornement.

L'eau donne lieu presque toujours à des dépôts de vase dans les vasques des fontaines monumentales ; elles reçoivent les feuilles qui tombent des arbres du voisinage, etc. ; et, si elles n'étaient vidées et nettoyées à intervalles réguliers, elles prendraient vite un aspect fâcheux, et pourraient répandre des odeurs désagréables : à Paris, le cahier des charges de l'entretien prescrit de procéder tous les huit jours à cette opération ; mais on peut la renouveler moins fréquemment pour les grands bassins et pour ceux qui sont entourés de clôtures ou placés dans des promenades gardées.

323. Précautions contre la gelée. — Une des causes les plus fréquentes de la détérioration des appareils publics est la congélation : ils sont en effet, par leur situation au-dessus ou au niveau du sol, en butte aux atteintes de la gelée, dont le moindre inconvénient est d'empêcher le fonctionnement des parties mobiles, et qui souvent provoque la rupture des tuyaux de raccordement.

Il y a donc à prendre des mesures spéciales pour défendre les appareils contre la gelée.

A cet effet, on met en décharge, en hiver, ceux d'entre eux qui ne servent que l'été, comme les bouches d'arrosage, ou dont le service est intermittent, comme les bouches d'incendie. Cela se fait aisément, du reste, en fermant les robinets de barrage, qu'on a eu soin de munir d'un petit orifice spécial précisément dans ce but, ou, à défaut, quand il n'y a pas de robinet de barrage, au moyen d'une soupape manœuvrée à

la main, ou s'ouvrant automatiquement au moment de la fermeture de l'appareil.

Quant aux bornes-fontaines, aux bouches de lavage, etc., qu'il faut toujours maintenir en service, il suffit ordinairement pour les mettre à l'abri de la congélation d'y déterminer un petit écoulement continu, si faible qu'il soit. Ce moyen comporte une perte d'eau notable : il est néanmoins fort répandu, parce qu'il est simple et de pratique facile, et que l'eau est presque toujours en excès pendant les froids.

Si, malgré ces précautions, un appareil vient à geler sans d'ailleurs éprouver de dommages, il faut, pour le remettre en service, le dégeler en le soumettant à une douce chaleur ; l'emploi de l'eau chaude est particulièrement recommandée en pareil cas.

§ 2.

APPAREILS DE PUISAGE

324. Puisage de l'eau destinée à tous les usages.— Le type primitif des appareils de puisage est la *fontaine banale* à écoulement continu, qu'on rencontre aux carrefours des villages, et dont l'orifice débouche au-dessus d'une auge servant à la fois à l'abreuvage du bétail et au lavage du linge, et auquel les ménagères viennent remplir leur seaux. Les villes n'avaient pas autrefois d'autre mode de distribution de l'eau : les conduites y alimentaient un certain nombre de fontaines, plus ou moins ornementées, où les habitants s'approvisionnaient au moyen de seaux ; l'auge était le plus souvent supprimée, mais, sauf de rares exceptions où l'écoulement était commandé par un bouton actionnant une soupape, l'eau coulait aussi à jet continu.

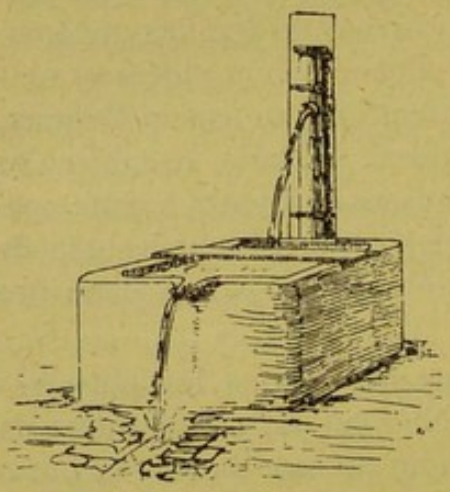


Fig. 401.

La multiplicité de ces fontaines, la richesse de leur ornementation étaient considérées comme un témoignage de la prospérité d'une ville. Pendant des siècles, Paris s'est contenté de ce système d'alimentation.

Dans les services d'eau modernes, où l'eau est amenée jusqu'à l'intérieur des maisons, le rôle des appareils de puisage a perdu son ancienne importance. L'intérêt de la salubrité publique commande néanmoins de les multiplier toujours, afin de mettre l'eau partout à la portée de ceux qui ne l'ont pas dans les habitations, de la donner gratuitement à ceux qui ne peuvent l'acheter. La répartition doit en être faite de telle sorte

que le parcours nécessaire pour atteindre l'appareil le plus voisin ne soit jamais trop long ; à Paris, on pense réaliser cette condition en admettant que chaque appareil peut desservir un périmètre limité par un cercle

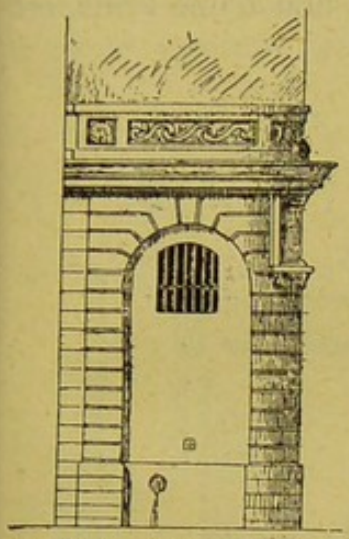


Fig. 402. — Fontaine du Pot de fer.

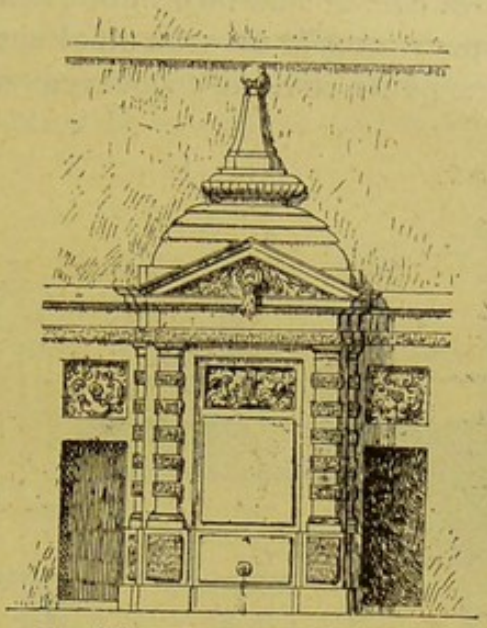


Fig. 403. — Fontaine de Jarente.

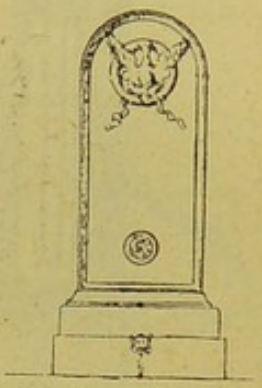


Fig. 404. — Fontaine de Poliveau.

de 100 mètres de diamètre, dont il occupe le centre, mais on a été conduit à rapprocher encore les appareils, et presque toujours les cercles se

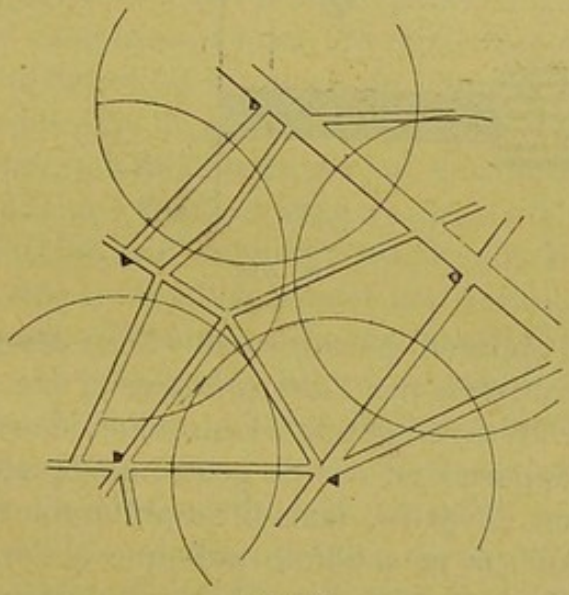


Fig. 405.

recoupent, si bien que le parcours maximum est réduit à 80 ou 50 mètres dans la plupart des cas.

Le débit d'un appareil de puisage est habituellement réglé de manière qu'un seau de capacité ordinaire (6 à 10 litres) y puisse être rempli en un temps assez court, 20 secondes par exemple, ce qui suppose un écoulement d'un demi-litre par seconde à peu près.

Les dispositions adoptées en général sont en rapport avec le rôle modeste que ces appareils sont appelés à remplir aujourd'hui. Ce sont de simples *bornes-fontaines* en fonte, isolées ou adossées contre un mur, et dont la hauteur est calculée de façon que l'orifice soit précisément au niveau convenable pour remplir un seau placé sur le trottoir, soit à $0^m,60$ ou $0^m,70$ du sol. Une petite cuvette, recouverte ou non d'une grille, est

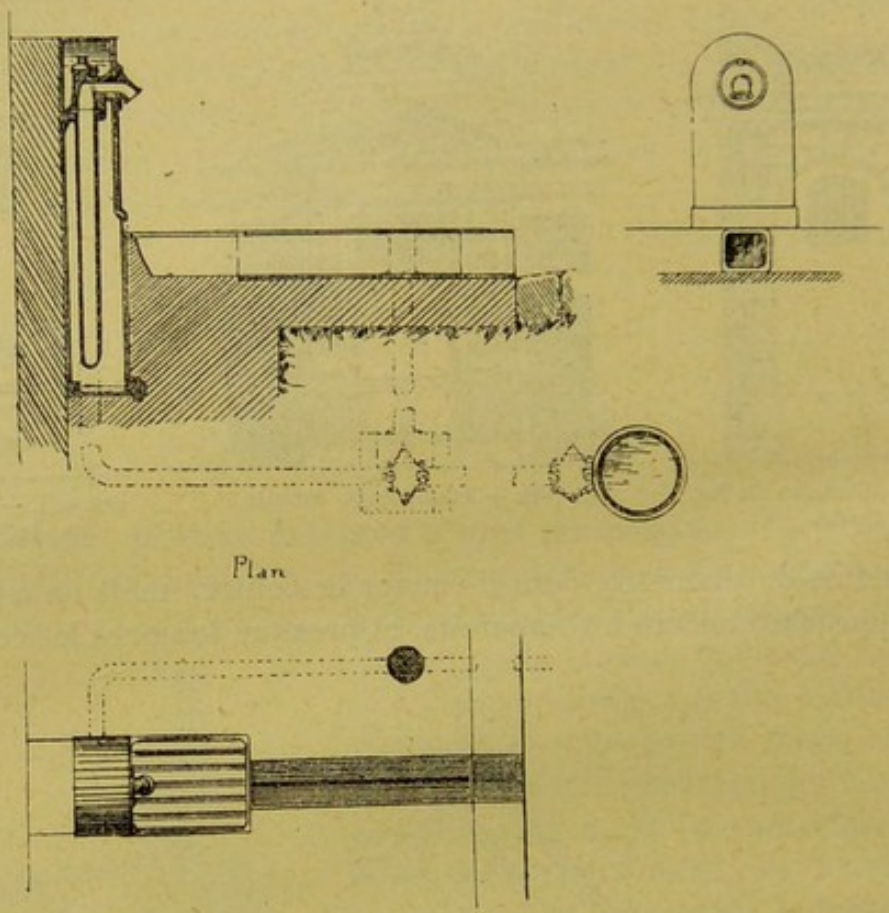


FIG. 406.

placée au pied de l'appareil, pour recueillir l'eau déversée sur le sol, qui gagne ensuite le caniveau par l'intermédiaire d'une gargouille ou s'écoule à l'égout par un tuyau spécial. Un robinet d'arrêt ou de barrage permet d'isoler l'appareil en cas de gelée ; quelquefois ce robinet n'est autre que le robinet de prise, mais il est préférable d'en disposer deux distincts, dont l'un sur la conduite publique à l'origine du branchement, et l'autre à l'extrémité du branchement à côté même de l'appareil.

La multiplication des bornes-fontaines dans les distributions d'eau actuelles s'oppose absolument au maintien de l'écoulement continu en usage autrefois, et qui aurait pour conséquence une dépense d'eau très considérable sans utilité pratique. Aussi tantôt l'usage en est-il limité à des heures déterminées, et tantôt, ce qui est évidemment meilleur, elles sont disposées pour donner l'eau à volonté : un bouton à repoussoir, une manette ou un levier sert à manœuvrer une soupape, qui est maintenue

ouverte pendant le puisage, et que l'effet d'un ressort ou d'un contre-poids ramène ensuite sur son siège.

Les divers systèmes employés à cet effet, comme tous les appareils mis à la disposition du public, sont exposés à des dérangements assez fréquents et coûtent beaucoup d'entretien, d'autant que la fermeture brusque résultant de l'action du ressort ou du contre-poids donne lieu à

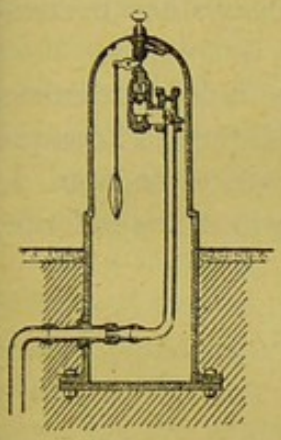


Fig. 407.

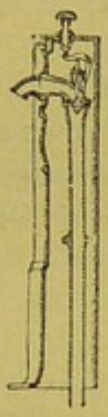


Fig. 408.

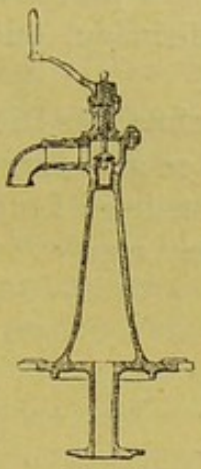


Fig. 409.

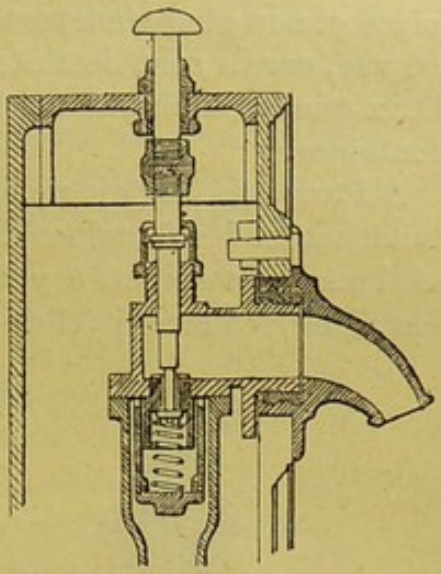


Fig. 410.

un coup de bélier, dont la répétition fréquente est nécessairement fort nuisible. Diverses combinaisons ont été étudiées pour arriver à la suppression du coup de bélier : il convient de citer la *borne-fontaine à vis* employée dans beaucoup de gares de chemins de fer, les robinets à contrepoids équilibré, à double soupape ; et parmi ces derniers le *robinet Chameroy*, qui a donné à Paris et dans d'autres villes de bons résultats, et dont la figure 410 fait suffisamment comprendre le mode de fonctionnement sans qu'il soit besoin d'en donner une description détaillée.

Quelquefois, lorsque l'eau mise en distribution est exposée à des troubles fréquents, on adapte aux bornes-fontaines de petits filtres spéciaux. C'est une complication qu'il est désirable d'éviter ; elle augmente le prix des appareils et comporte un entretien plus minutieux.

325. Puisage de l'eau réservée à la boisson. — Dans les villes où l'alimentation est double, où deux natures d'eau différentes sont distribuées simultanément et affectées séparément à deux catégories d'usages distincts, il est fort à propos de disposer sur la voie publique, surtout si les bornes-fontaines ne fournissent que l'eau d'usage courant, d'autres appareils débitant l'eau destinée à la boisson, et où les passants pourront venir étancher leur soif avec l'assurance d'y trouver l'eau de bonne qualité. Ces appareils sont appelés à rendre de précieux services dans les très grandes villes, où les courses sont longues, ainsi que dans les promenades publiques.

Ce sont en réalité des bornes-fontaines, mais dont, en raison de leur

usage spécial, le débit peut être très réduit ; un filet d'eau suffira, puisque c'est un verre ou un gobelet et non un seau qu'il s'agit d'y remplir. Aussi y a-t-il moins d'inconvénient à disposer les appareils de ce genre pour un écoulement continu. L'espacement peut d'ailleurs en être beaucoup plus grand que celui des bornes-fontaines, car ils ne répondent pas à un besoin aussi impérieux, et l'eau qu'on y puise est consommée sur place et non plus transportée à distance. Il convient de les placer plus en vue, car ils sont destinés aux passants, moins familiarisés avec les lieux que les habitants du voisinage, qui font seuls usage des bornes-fontaines.

A Paris, un Anglais richissime, Sir Richard Wallace, a de ses deniers fait installer des fontaines de ce genre sur les voies publiques, à l'époque où l'on a commencé à y distribuer l'eau de source : de là le nom de fontaines Wallace qu'elles ont reçu et conservé. Deux modèles en fonte,

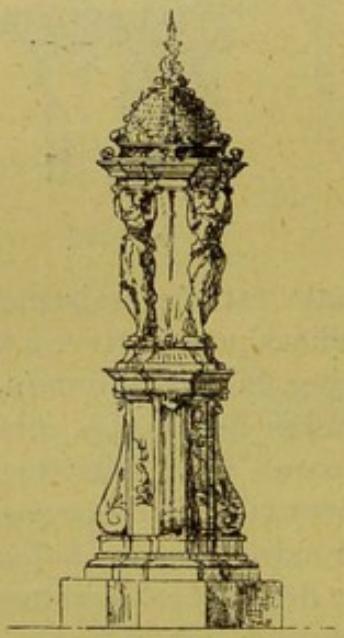


Fig. 411.

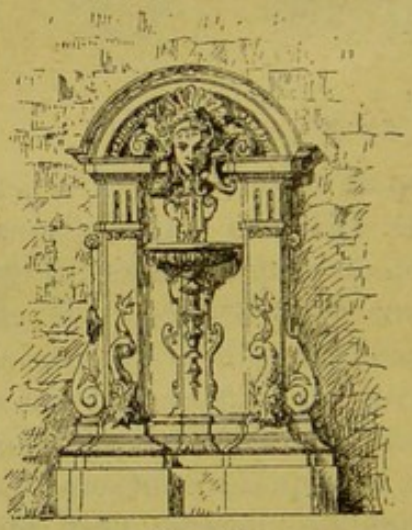


Fig. 412.

tous deux fort gracieux et richement ornés, sont en usage, suivant que l'appareil est isolé au bord d'un trottoir ou adossé contre un mur : des gobelets en métal nickelés y sont appendus par des chaînettes. L'écoulement y est continu et le débit atteint quatre mètre cubes par jour.

Fig. 413.

Devenues moins utiles, depuis que toutes les bornes-fontaines ont reçu également l'eau de source, les fontaines Wallace n'en ont pas moins été maintenues. Le service municipal en a même augmenté le nombre, car elles sont fort appréciées du public, à cause de la facilité avec laquelle on peut y boire sans manœuvre aucune et sans risque d'éclaboussures, facilité qu'on ne trouve pas aux bornes-fontaines ; on a même créé pour les promenades un type spécial, plus simple et moins dispendieux,

quoique d'un aspect agréable : c'est une petite borne carrée munie de deux gobelets et où l'eau est fournie par un robinet à repoussoir.

Les appareils de ce type ne sont pas encore très répandus, mais ils méritent de l'être, et le succès qu'ils ont eu à Paris est un gage de la faveur avec laquelle ils seraient accueillis ailleurs.

326. Puisages temporaires ou spéciaux. — Dans quelques circonstances on dispose, pour certains usages spéciaux, des appareils distincts, qui y sont mieux appropriés que les bornes-fontaines ordinaires : à titre d'exemple, nous citerons ceux qui sont employés à Paris dans les marchés permanents ou périodiques, et aux bureaux de stationnement de voitures, robinets de divers types servant au puisage de l'eau pour le lavage des viandes ou des légumes ou pour rafraîchir les chevaux.

Outre ces usages spéciaux permanents il en est de temporaires, comme les travaux de maçonnerie sur la voie publique, égouts, bétonnages, etc., les fêtes foraines, et autres, pour lesquels, à défaut de bornes-fontaines suffisamment proches, on utilise parfois les appareils de lavage ou d'arrosage les plus voisins, en levant le couvercle qui les recouvre et vissant sur l'un des raccords un *col de cygne*, sorte de tuyau recourbé muni d'une soupape ou d'un robinet, et disposé de manière à se prêter au remplissage d'un seau. Le col de cygne rend aussi des services dans les expositions, où on l'adapte aux bouches d'arrosage ou d'incendie, dans les promenades publiques, où les jardiniers l'utilisent pour remplir leurs arrosoirs aux appareils mêmes qui sont destinés à l'arrosage à la lance, etc.

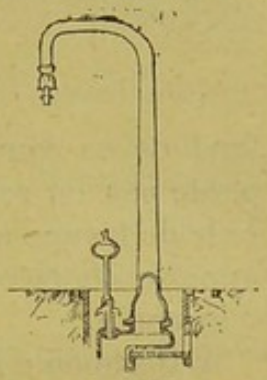


Fig. 414.

§ 3.

APPAREILS DE LAVAGE.

327. Lavage des caniveaux. — Les lavages qu'exige le nettoiement de la voie publique s'effectuent au moyen d'appareils déversant l'eau dans les *caniveaux*, qui courent le long des bordures de trottoirs de part et d'autre des chaussées bombées, et où viennent s'accumuler les immondices provenant du balayage de la rue ou entraînées par les eaux pluviales, ainsi que les eaux ménagères des maisons riveraines.

Ce sont simplement des orifices de dimension convenable, placés aux points hauts des caniveaux, aux *heurts*, et par lesquels l'eau s'échappe sans projections, pour former un ruisseau suffisamment abondant.

La règle à suivre pour assurer un lavage complet, sans double emploi, est de disposer autour de chaque îlot de maisons les caniveaux, de telle

sorte qu'ils présentent un point haut et un point bas, et de placer au point bas une bouche d'égout, au point haut un appareil de lavage. Au moyen d'un petit barrage, formé par un tas de sable ou un morceau de toile, le cantonnier dirige l'écoulement de l'eau fournie par l'appareil, soit d'un côté, soit de l'autre, et il suit le courant, armé de son balai, pour délayer la boue, pousser devant lui les ordures, le sable, etc., jusqu'à ce qu'il parvienne à la bouche d'égout : changeant ensuite le barrage de place, il recommence sur l'autre versant. L'espacement des appareils n'est donc pas déterminé : il dépend des dispositions des îlots de maisons. Au reste le même appareil peut laver un caniveau de grande longueur sans aucun inconvénient, si le fond de ce caniveau est imperméable de telle sorte que l'eau ne s'y perde pas en route. Il convient cependant de ne pas mettre les appareils de lavage à des intervalles trop éloignés, dans les villes où ils sont appelés en même temps à fournir l'eau nécessaire aux pompes en cas d'incendie.

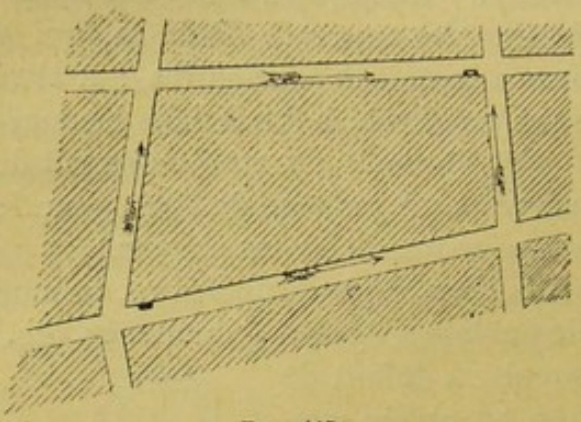


Fig. 415.

A Paris on a longtemps utilisé pour le lavage des caniveaux la borne-fontaine ordinaire, qu'on ouvrait à cet effet à des heures déterminées, et dont l'eau s'écoulait par la gargouille ; mais, comme le puisage au seau s'y effectuait en même temps, il pouvait arriver et il arrivait souvent que, les ménagères y faisant queue et les seaux se succédant sans interruption, le caniveau ne fût que peu ou point lavé. Il y a donc avantage à spécialiser les appareils et à rendre le lavage de la voie publique indépendant des bornes-fontaines. Aujourd'hui d'ailleurs, les bornes-fontaines ne débitant plus que de l'eau de source, tandis que les caniveaux sont lavés à l'eau de rivière, il est devenu tout à fait nécessaire d'avoir pour les deux usages des appareils absolument distincts, et le lavage s'effectue d'une manière générale au moyen de *bouches de lavage* disposées dans des boîtes noyées dans les trottoirs, et souvent désignées, à cause de la position qu'elles occupent, du nom de *bouches sous trottoirs*.

Ces mêmes appareils sont à peu près seuls répandus dans toutes les villes françaises qui ont organisé un service public. En Angleterre, en Allemagne, aux Etats-Unis d'Amérique, le même rôle est attribué à ceux qui sont dénommés *hydrants* ou *hydranten* et qui reçoivent des dispositions très variées, tantôt analogues à celle adoptée en France et tantôt très différentes.

328. Bouches de lavage. — Les bouches de lavage sont presque toujours placées entre deux bouts d'une même bordure de trottoir, avec

laquelle la boîte de l'appareil vient s'aligner, de sorte que l'eau semble s'échapper de la bordure même dans le caniveau.

A l'intérieur de la boîte en fonte se trouve une soupape en bronze, qui se manœuvre de l'extérieur au moyen d'une clé. Dès que la soupape est ouverte, l'eau débouche sous une petite cloche, qui brise le jet et détruit complètement l'effet de la pression, puis gagne l'ouverture généralement double par laquelle elle se déverse dans le caniveau. Le rebord de l'orifice est fileté, et peut recevoir soit un raccord, pour servir à l'arrosage ou à l'alimentation d'une pompe d'incendie, soit un col de cygne

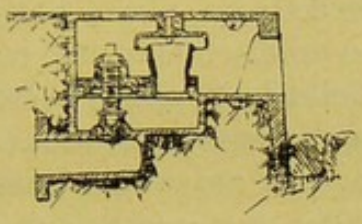


Fig. 416.

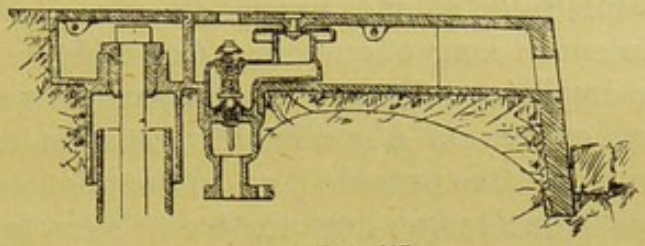


Fig. 417.

pour le puisage : il faut, dans ce cas, lever le couvercle de la boîte, qui entraîne dans son mouvement la cloche masquant l'orifice.

L'appareil est muni d'un robinet de barrage qui peut être placé sous bouche à clé à une distance variable, ou rapproché de la bouche de lavage de manière à être renfermé dans le même coffre, comme dans le type actuel de Paris (*fig.* 417).

Le débit d'une bouche de lavage est souvent réglé à raison de 100 litres par minute ou 1^{lit}, 67 par seconde.

On retrouve à l'étranger des types analogues, mais le plus souvent la soupape est remplacée par une boule en caoutchouc ou en bois, ou par

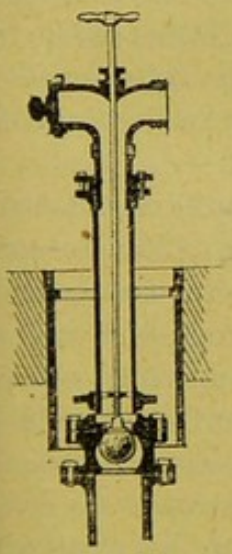


Fig. 418.

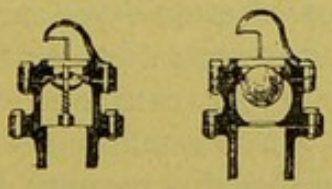


Fig. 419.

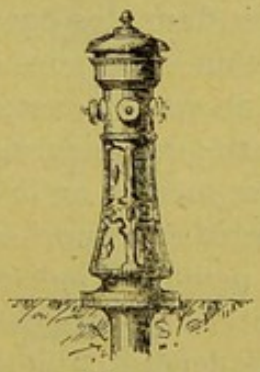


Fig. 420.

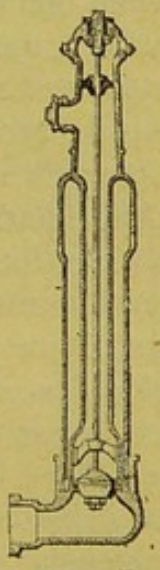


Fig. 421.

un clapet à ressort ; au-dessus vient se placer directement une colonne fixe ou mobile, contenant une tige filetée pour la manœuvre, et portant le raccord, destiné à recevoir le boyau servant au lavage, à l'arrosage et

à l'alimentation des pompes d'incendie. La soupape à boule est économique mais ne donne pas une fermeture aussi sûre que la soupape ordinaire; la colonne fixe a l'inconvénient de faire saillie au-dessus du sol et de gêner la circulation, mais par compensation elle est facile à trouver la nuit quand on veut l'utiliser pour l'extinction d'un incendie. Souvent l'hydrant est pourvu de deux raccords de part et d'autre (*fig.* 418.)

329. Lavage des urinoirs et des latrines publiques. — Il convient évidemment de ranger sous la même rubrique les appareils qui assurent le lavage continu des urinoirs disposés sur la voie publique. Ce sont d'ordinaire de simples tuyaux de cuivre percés de trous, placés horizontalement le long et au-dessus des tablettes en ardoise, en pierre ou en lave émaillée, qui constituent la partie essentielle de la plupart des urinoirs, et servent à y répandre l'eau en nappe mince et continue. Le tuyau doit être précédé d'un robinet de barrage, et autant que possible muni d'une jauge, destinée à en règler le débit, à raison de 4 mètres cubes en moyenne par 24 heures et par mètre linéaire.

Les latrines publiques, peu nombreuses en général dans les villes, manquent d'eau trop souvent : il serait bien nécessaire cependant de les pourvoir d'appareils de lavage. Peut-être est-il plus difficile, il est vrai, de trouver un système efficace pour en assurer convenablement le nettoyage. Il semble cependant que les appareils récemment proposés pour fournir des chasses d'eau à intervalles réguliers soient appelés à rendre de bons services en pareil cas, surtout si, comme on doit le supposer, le fonctionnement automatique peut en être rendu suffisamment sûr pour ne pas entraîner de déperdition d'eau inutile.

Depuis quelques années une société privée a installé à Paris des *chalets de nécessité*, élégamment construits et tenus avec une propreté parfaite, qui contiennent des water-closets très bien lavés et des cabinets de toilette convenablement aménagés. La prospérité de cette société montre que des établissements de ce genre répondent à un besoin réel et peuvent rendre souvent des services fort appréciables.

330. Chasses dans les égouts. — L'eau de la distribution peut être encore utilisée au lavage des égouts au moyen de chasses. C'est là sans aucun doute un emploi exceptionnel et qu'il faut considérer en général comme un luxe ; car le curage des égouts doit se faire en principe à l'aide des eaux mêmes qu'ils reçoivent, eaux pluviales ou eaux usées, c'est-à-dire ayant déjà servi soit dans les maisons soit sur la voie publique. Mais il peut être indispensable d'y recourir dans certains cas où l'eau, relativement peu abondante dans les égouts, ne suffirait pas à l'entraînement des dépôts, et en particulier quand on y projette les matières de vidange par application du système du *tout à l'égout*.

Depuis peu on installe à Paris pour cet usage, à l'extrémité amont des égouts en impasses ou aux points hauts de ceux à double pente, des réservoirs de chasse de 10 mètres cubes de capacité, destinés à être

vidés soit automatiquement par le jeu d'appareils spéciaux de divers types, soit à volonté au moyen d'une vanne manœuvrée à la main par l'ouvrier chargé du curage. L'alimentation de ces réservoirs est faite par un simple robinet de jauge, réglé pour les remplir une fois par jour.

§ 4.

APPAREILS D'ARROSAGE.

331. Arrosage des chaussées au tonneau. — Suivant les cas, l'arrosage des chaussées s'effectue par deux procédés différents, *au tonneau* ou *à la lance*.

Pour l'arrosage au tonneau il est fait usage de tonneaux en bois ou en métal, montés sur roues et traînés soit par un homme, soit par un cheval : ils ont dans le premier cas une capacité de 200 à 300 litres, et de 1.000 à 1.500 litres dans le second. Ces tonneaux, après avoir été remplis d'eau par l'intermédiaire d'un appareil spécial branché sur la distribution, sont conduits dans la voie qu'il y a lieu d'arroser, et y répandent l'eau soit en pluie fine par les trous percés en grand nombre dans un tube en cuivre recourbé, soit en une nappe extrêmement mince et développée en éventail, qui s'obtient par la projection de l'eau sur un disque plan faisant office de soupape.

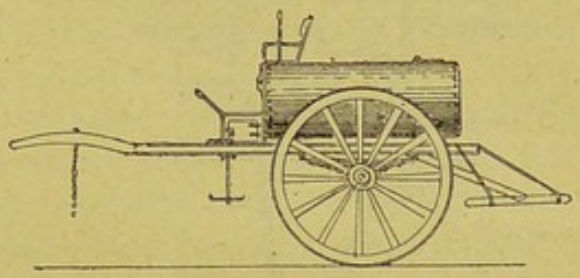


Fig. 422.

Le remplissage des tonnaux se faisait autrefois au moyen de *poteaux d'arrosement* en fonte, portant un orifice à la hauteur convenable pour que le boyau de raccord vînt aboutir à la bonde presque horizontalement. Des marches en fonte, faisant corps avec le poteau, permettaient à l'agent chargé de la manœuvre de se tenir assez haut pour atteindre la clé du robinet placé au sommet de l'appareil. La capacité intérieure jouait le rôle de réservoir d'air pour amortir les coups de bélier.

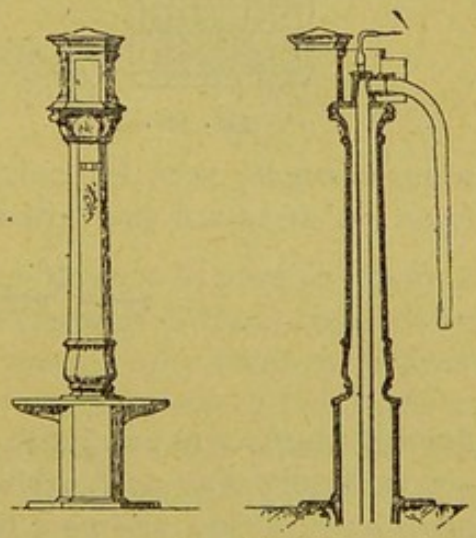


Fig. 423.

On a renoncé maintenant d'une manière à peu près générale à ces appareils encombrants : c'est à peine s'il en reste quelques-uns à Paris. Ils sont remplacés avec avantage par des

bouches de remplissage, de forme analogue aux bouches d'arrosage dont il sera question tout à l'heure, disposées aussi dans des coffres en fonte arasés au niveau des trottoirs, mais d'un diamètre plus fort, afin de débiter en un temps suffisamment court (2 à 3 minutes par exemple) les 1000 à 1500 litres nécessaires pour emplir un tonneau traîné par un cheval.

332. Arrosage à la lance. — L'arrosage au tonneau est, on le conçoit fort dispendieux : il comporte un matériel important, dont l'acquisition et l'entretien coûtent cher, et le transport de l'eau à distance soit à bras soit au moyen du cheval représente aussi une dépense relativement élevée. L'arrosage à la lance, beaucoup plus économique, doit être en conséquence préféré quand les circonstances s'y prêtent ; mais il ne peut être employé que sur des voies canalisées et suffisamment larges.

Il suppose l'installation de bouches d'eau, rondes ou carrées, assez analogues aux bouches de lavage, noyées aussi dans le trottoir mais

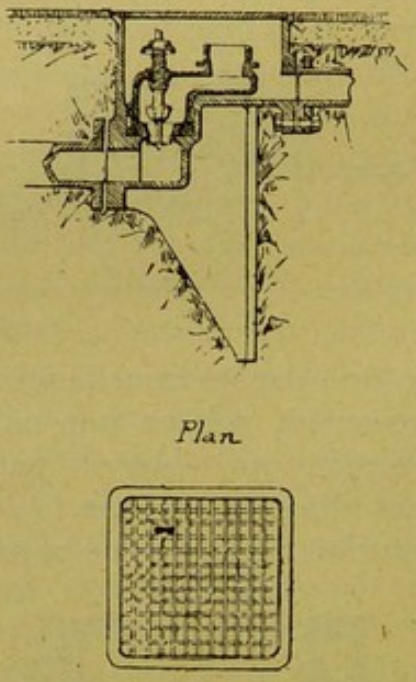


Fig. 424.

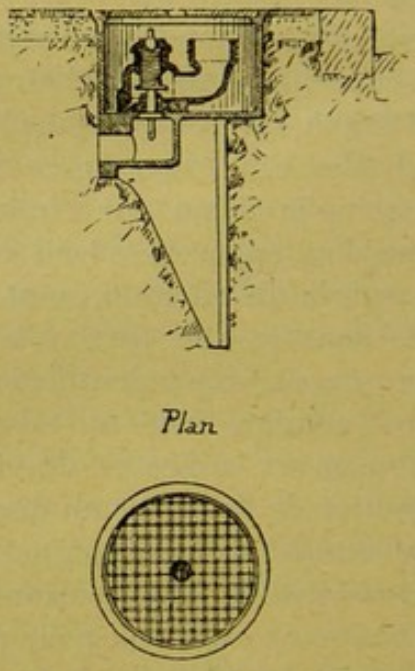


Fig. 425.

sans débouché vers le caniveau. En levant le couvercle du coffre en fonte on découvre un raccord fileté sur lequel vient se fixer un tuyau

Fig. 426.

flexible armé à son extrémité de la *lance* de projection, tube conique en cuivre pourvu d'un petit robinet (*fig.* 426). Un homme tient la lance à la main et en dirige aisément le jet avec le doigt. Pour diminuer l'usure du tube flexible, très rapide quand on le laisse traîner à terre et qu'il est en cuir, en toile ou en caoutchouc, on le compose à Paris d'une série

de bouts de tuyau en métal, raccordés entre eux par des tuyaux en cuir de faible longueur et portés par de petits chariots à roulettes.

Avec ce système d'arrosage l'eau peut être mieux répartie là où elle

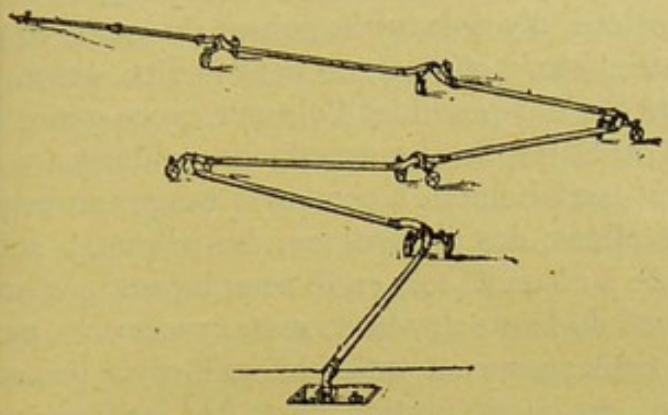


Fig. 427.

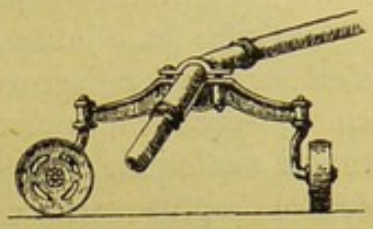


Fig. 428.

est nécessaire, aussi bien sur les trottoirs que sur la chaussée ; les passants ont moins à redouter les projections d'eau, dont ils se garent assez mal quelquefois pendant l'arrosage au tonneau ; l'opération s'effectue en un mot d'une manière très satisfaisante.

L'inconvénient qu'on peut lui reprocher c'est la multiplicité des bouches, qui doivent être nécessairement assez rapprochées les unes des autres pour que la lance puisse atteindre successivement tous les points de la voie publique. Pour augmenter l'espacement et réduire la

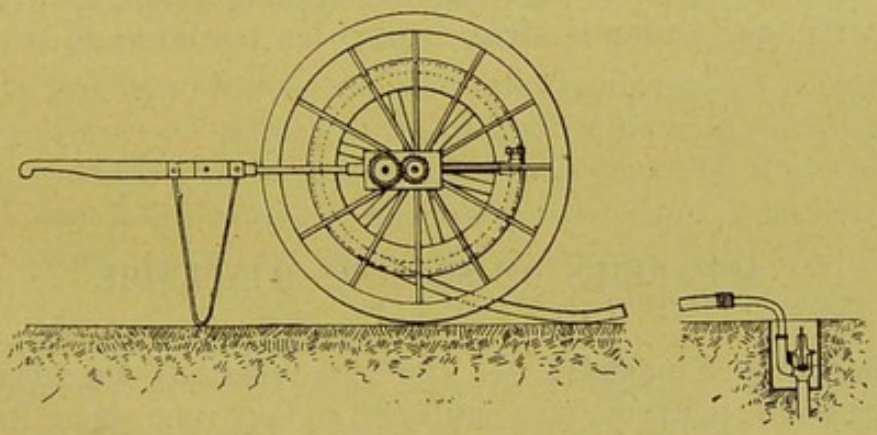


Fig. 429.

dépense de premier établissement, il faut donner le plus de longueur possible au tuyau flexible : celui du type en usage à Paris reste encore léger et maniable, et replié occupe peu de place, tant qu'on ne dépasse pas 15 à 20 mètres, d'où il résulte que les bouches peuvent être espacées de 30 à 60 mètres environ. A Vienne (Autriche), on a augmenté plus encore l'écartement, grâce à l'emploi de *dévidoirs*, analogues à ceux dont se servent les pompiers, c'est-à-dire de grands tambours sur lesquels s'enroule le tuyau flexible : mais ce système, assez peu commode

d'ailleurs dans les voies fréquentées, comporte sûrement et plus de main-d'œuvre et plus d'entretien que celui de Paris.

333. Arrosage des plantations et des pelouses. — L'eau bien employée peut contribuer puissamment à embellir les promenades publiques, car elle permet d'y abattre la poussière, d'y assurer la pousse du gazon, d'y entretenir des plantes délicates, etc. ; et c'est, on peut le dire, grâce à l'introduction de l'arrosage, qu'il a été possible d'obtenir en ce genre à Paris, et ailleurs à l'imitation de Paris, de si merveilleux résultats.

L'emploi de la lance convient parfaitement à ce nouvel usage : on peut s'en servir pour l'arrosage des allées, des plantations, des pelouses, soit en conservant le tuyau flexible à chariot, soit en le remplaçant par un tuyau analogue, composé aussi de bouts droits en métal raccordés par des bouts plus courts en cuir, mais sans roulettes, puisqu'il n'y a pas en général à se préoccuper autant de la circulation dans les jardins que sur les voies publiques.

Parfois on substitue à la lance, pour l'arrosage des pelouses, des appareils automatiques à réaction, qui pulvérisent l'eau pour ainsi dire et la font tomber en pluie fine sur une vaste étendue de gazon sans l'intervention d'aucun ouvrier. Un effet analogue peut être obtenu au moyen de tuyaux pliants, où les bouts métalliques ont été percés de petits trous, d'où l'eau s'échappe en nombreux et minces filets.

La bouche d'arrosage à coffre rond, qui se place partout indifféremment, convient bien dans les jardins anglais où il n'y a pas de lignes régulières, tandis que sur les voies publiques on préférera souvent la forme carrée, qui s'adapte mieux contre les bordures de trottoirs.

§ 5.

APPAREILS DE SECOURS D'INCENDIE

334. Raccords d'incendie. — Tous les appareils du service public sans exception peuvent être utilisés, si l'on veut, pour les secours d'incendie. Ils sont en général disposés à cet effet ; et les bornes-fontaines mêmes, dont l'orifice ne se prête pas d'ordinaire à l'attache du boyau d'alimentation, y sont appropriées aisément par l'addition d'un *raccord d'incendie* dissimulé dans la boîte en fonte. C'est un orifice, muni d'un bout fileté, et fermé en temps normal au moyen d'un bouchon métallique, qu'on découvre, au moment du besoin, en ouvrant une petite porte spéciale fermée à clé.

Il n'y a aucune modification à faire subir aux bouches d'arrosage et de lavage pour les employer aux secours d'incendie : les premières sont déjà pourvues d'un raccord, sur lequel il suffit d'adapter le boyau d'in-

cendie à la place même de l'appareil d'arrosage, les secondes présentent presque toujours un raccord analogue qu'on découvre en relevant le couvercle du coffre.

La principale condition à observer, pour obtenir des résultats satisfaisants, c'est que tous les raccords d'incendie aient même diamètre et même pas, afin que les pompiers n'aient à se pourvoir que d'un seul type de boyau et puissent en faire usage partout sans hésitation ni perte de temps : on réduit d'ailleurs la durée de la manœuvre en donnant aux raccords des dispositions spéciales, qui permettent d'opérer la jonction par une sorte de mouvement de baïonnette, réduit à un quart de tour par exemple. Il faut aussi que le débit des divers orifices soit capable d'alimenter une pompe ordinaire à bras, qui suppose presque toujours l'emploi de 225 litres d'eau par minute : et comme, pour le bon fonctionnement des bouches de lavage et autres appareils, un aussi grand volume d'eau n'est point nécessaire, on est conduit à leur donner des dimensions un peu exagérées, de même qu'aux branchements qui les alimentent, sauf à limiter normalement le débit au moyen du robinet de barrage qu'on a soin de ne pas ouvrir en plein : les pompiers doivent être dès lors toujours munis de clés pour la manœuvre des robinets de barrage, qui est le préliminaire indispensable de la mise en service des raccords d'incendie.

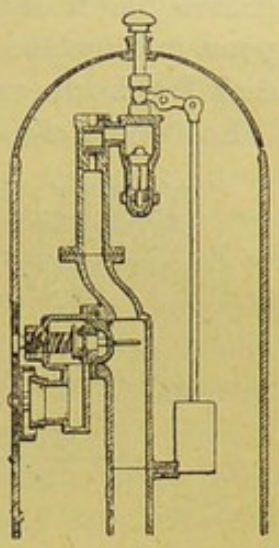


Fig. 430.

Quand la pression de l'eau est suffisante pour que les pompiers emploient le jet direct à l'extinction des incendies, ils n'ont qu'à visser sur l'orifice le raccord d'un boyau flexible, pourvu à son autre extrémité d'une lance tout à fait analogue à la lance d'arrosage. Dans le cas contraire, le boyau adapté sur le raccord d'incendie débouche librement dans la bâche de la pompe, et celui qui est pourvu de la lance vient se fixer sur la tubulure de refoulement.

335. Bouches d'incendie pour pompes à vapeur. — Depuis assez longtemps aux États-Unis, et depuis quelques années à Londres, à Paris et dans les grandes villes d'Europe, on fait usage, pour l'extinction des grands incendies, de pompes beaucoup plus puissantes, mues par la vapeur et capables de débiter 600 à 1.600 litres par minute.

Les raccords d'incendie ordinaires ne sauraient alimenter ces nouveaux engins, de sorte qu'il a fallu poser tout spécialement des bouches appropriées, et même parfois renforcer les conduites publiques elles-mêmes, dont les diamètres ne se fussent pas prêtés à des débits aussi importants.

A Paris, les bouches pour pompes à vapeur ont un orifice de 0^m, 10 de diamètre et sont toutes alimentées par la canalisation du service privé,

qui seule présente partout et à toute heure du jour et de la nuit une pression capable de fournir un jet direct efficace. Les conduites de service ayant dans toutes les rues, et sauf de très rares exceptions, le diamètre de 0^m, 10, et se trouvant alimentées presque toujours par les deux bouts, peuvent fournir sans peine le débit nécessaire pour les pompes du plus gros modèle. On en a déjà posé 3.500 environ; mais le plan dressé par le service des pompiers en comporte 5.660, soit une bouche pour un hectare et demi environ, la superficie totale de la ville étant de 7.800 hectares. Leur espacement moyen est de 100 mètres.

La *bouche d'incendie* pour pompe à vapeur se compose d'un coffre en fonte contenant une soupape et un raccord, dont la disposition est semblable à celle des bouches d'arrosage, mais de plus grandes dimensions. Dans un but de simplification, on a supprimé la serrure, et le couvercle est maintenu fermé par un contrepoids. Le robinet de barrage et le branchement d'alimentation sont placés dans un des regards que l'on trouve de 50 en 50 mètres dans les rues pourvues d'égouts, de sorte que toutes les parties de l'installation

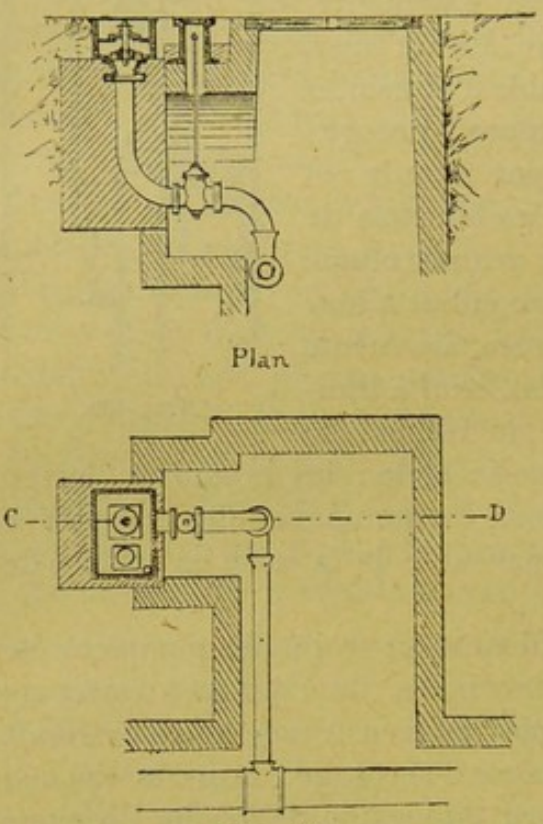


Fig. 431.

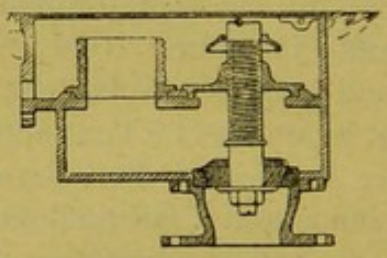


Fig. 432.

sont aisément et constamment accessibles : à défaut de regard, dans les voies non encore drainées, on dispose une chambre spéciale en maçonnerie.

Pour retrouver aisément la nuit la position de la bouche, qui est noyée dans le trottoir et assez peu visible, on a soin de l'indiquer au moyen d'une plaque fixée au socle du bâtiment le plus voisin : le type adopté à Paris, en émail blanc, frappe bien le regard et supprime toute hésitation. Une plaque de ce genre est évidemment inutile quand la bouche d'incendie est remplacée, comme à New-York par exemple, par un hydrant en forme de colonne saillante s'élevant à 0^m,92 au-dessus du sol (le diamètre du raccord à New-York est de 0^m, 1265).

Fig. 433.

336. Organisation assurant la permanence des secours. — Dans les villes où les conduites sont constamment en pression et qui sont pourvues d'un nombre suffisant de bouches et de raccords d'incendie, il semble que le service des secours d'incendie soit parfaitement assuré. Il peut s'y présenter néanmoins telle circonstance où l'intervention des agents des eaux sera utile, parce qu'il y aura quelque manœuvre exceptionnelle à faire pour mettre les appareils en service ou en améliorer le fonctionnement : ici ce sera une communication à établir entre deux parties du réseau ou deux étages de distribution, là un robinet d'arrêt à ouvrir ou à fermer, un appareil à dégeler, etc. Aussi convient-il que les pompiers sachent, à tout moment du jour et de la nuit, comment trouver les agents du service des eaux dont ils auraient à réclamer le concours.

Dans les grandes villes on organise à cet effet un poste de permanence, qui est en relation constante avec le service des pompiers. L'employé qui se trouve au poste, immédiatement avisé par les pompiers, transmet l'avis à l'agent intéressé, lequel se transporte aussitôt sur les lieux avec les hommes dont il dispose et y prend les mesures nécessaires. Ce système implique l'existence d'un réseau télégraphique ou téléphonique, reliant d'une part les postes de pompiers au bureau central des eaux, et d'autre part ce bureau avec la demeure des principaux agents du service. Il y a longtemps qu'un réseau télégraphique ainsi conçu fonctionne à Paris dans de bonnes conditions et y rend de précieux services.

Des mesures analogues sont plus indispensables encore dans les villes où le service est intermittent, puisque, sans l'intervention des agents des eaux, les pompiers se trouveraient presque toujours en présence d'appareils non alimentés. A Londres l'organisation destinée à parer à cet inconvénient est, paraît-il, si bien comprise que, malgré la prédominance du service intermittent et la promptitude avec laquelle les pompiers se rendent sur le lieu du sinistre, l'eau est toujours à leur disposition dès qu'ils sont prêts à l'utiliser. Quoi qu'il en soit, il est hors de doute que les pertes occasionnées par le feu dans les villes anglaises, où la distribution est intermittente, sont beaucoup plus considérables que dans celles qui ont renoncé à ce système défectueux.

§ 6.

FONTAINES DÉCORATIVES ET PIÈCES D'EAU

337. Fontaines de puisage ornées ou monumentales. — Il était autrefois d'usage à peu près constant dans les villes d'orner les fontaines de puisage; et souvent on s'appliquait à leur donner, en raison du rôle plus ou moins important qu'elles avaient à remplir, un aspect décoratif ou monumental.

Les grandes citernes de la cour du palais des Doges, à Venise, dont on admire les margelles richement ornées, en fournissent un exemple (*fig.* 434).

Fig. 434.

L'ancien Paris comptait un assez grand nombre de fontaines de ce genre, toutes composées d'un morceau architectural, soit isolé, soit adossé à une construction publique ou privée, et au pied duquel un ori-

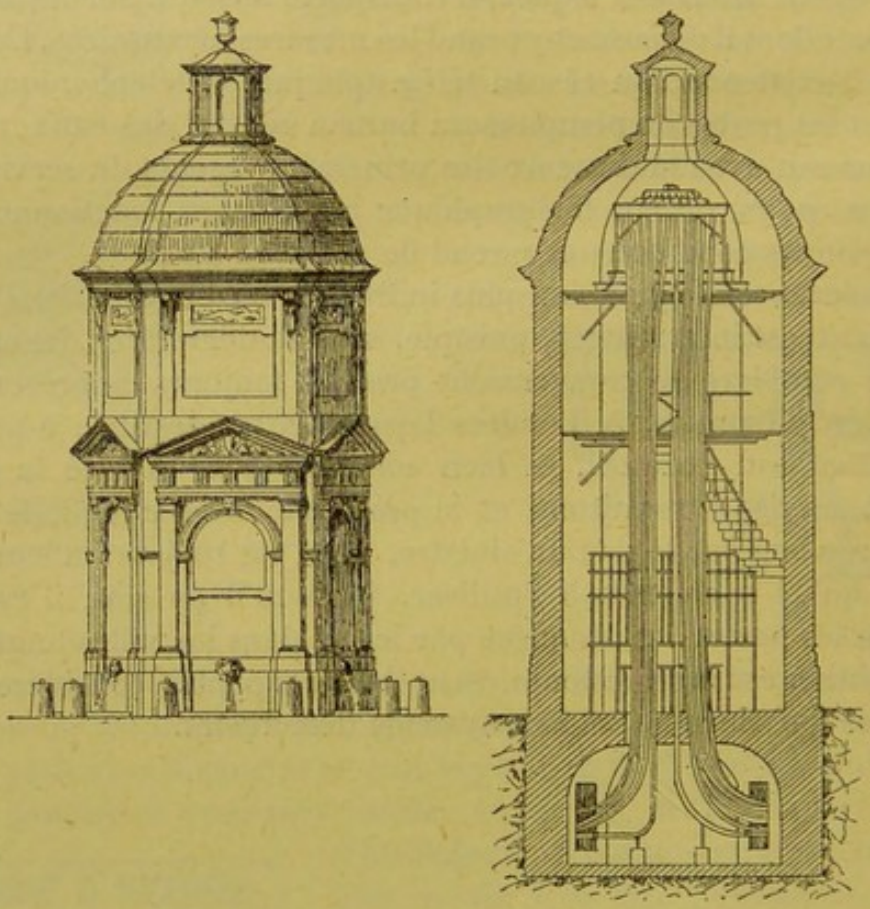


Fig. 435. — Fontaine de Birague.

fice laissait échapper l'eau qu'y venaient puiser les habitants. Nous citerons la fontaine de Birague, détruite lors du prolongement de la rue de Rivoli, et, parmi celles qui subsistent, la fontaine de l'Arbre-Sec, la fontaine Gaillon, la fontaine de Grenelle, d'une si belle ordonnance et ornée de si remarquables sculptures.

La dimension de ces édifices semble aujourd'hui hors de proportion avec leur objet ; mais il ne faut pas oublier que, derrière la façade décorée,

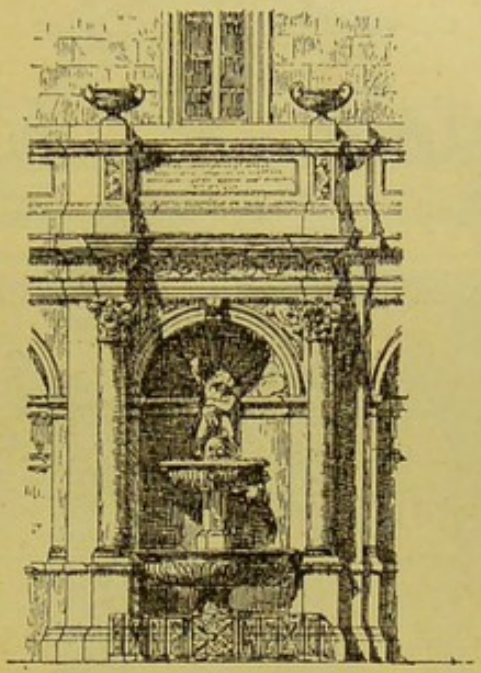


Fig. 436. — Fontaine Gaillon.

se cachait d'ordinaire le château d'eau servant à la répartition de l'eau entre les concessionnaires du voisinage, la cuvette de distribution avec

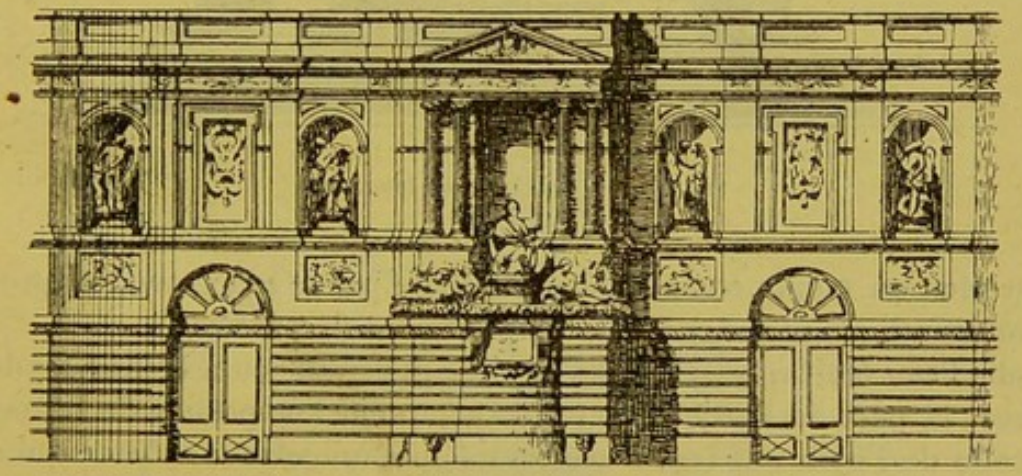


Fig. 437. — Fontaine de Grenelle.

les bassinets et le jeu des tuyaux correspondants. Pour en donner une idée, nous avons reproduit ci-dessus la coupe de la fontaine de Birague où l'on aperçoit les divers organes du château d'eau. On s'explique alors ces monuments coûteux et importants, ornés parfois avec tant de richesse et de goût, et dont un mince filet d'eau révélait seul à l'extérieur la destination.

338. Fontaines décoratives. — D'autres fontaines ornées, qui ne servent pas au puisage, ont pour unique objet de décorer un carrefour ou une place et d'y répandre la fraîcheur, de charmer l'œil par des effets

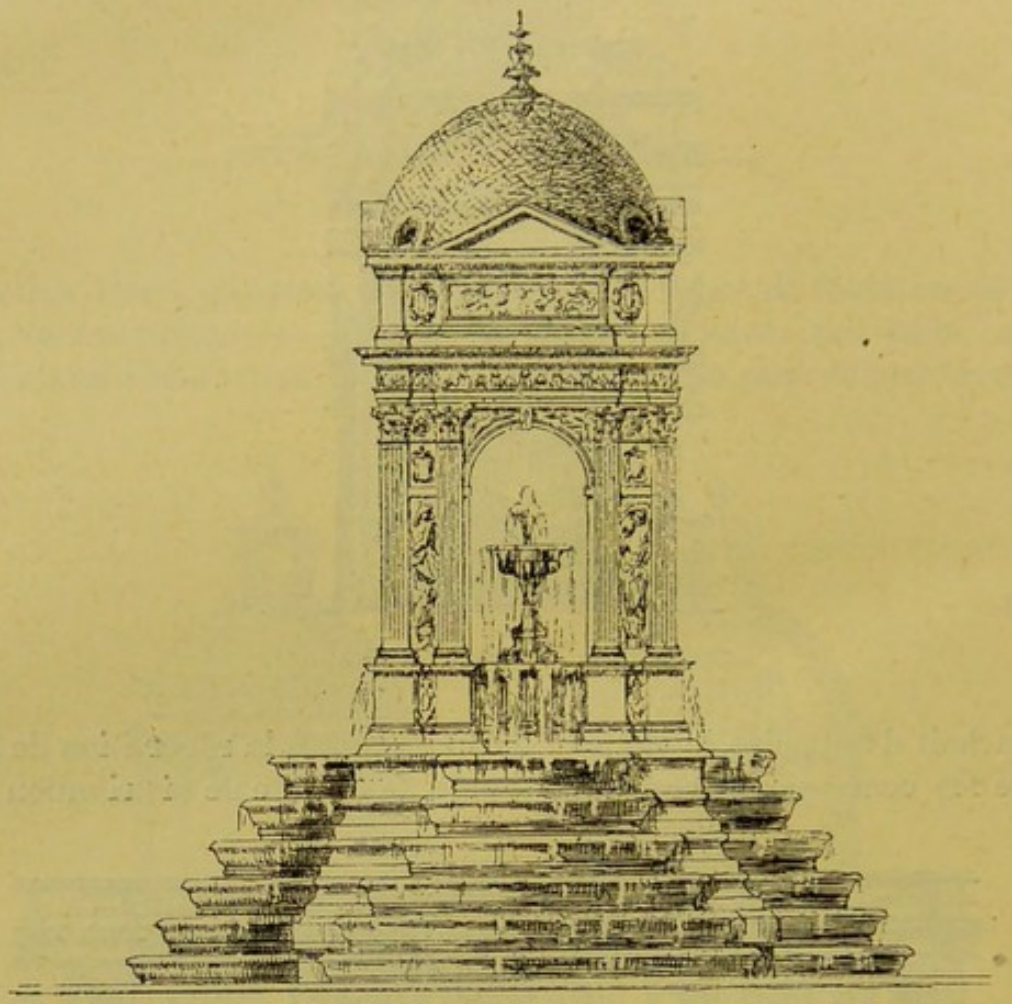


Fig. 438. — Fontaine des Innocents.

d'eau plus ou moins compliqués et l'oreille par le murmure que produit l'écoulement. Ce sont des fontaines purement *décoratives*.

Jadis l'eau était rare, et, dans la plupart des anciennes fontaines décoratives, la part de l'architecte ou du sculpteur l'emportait de beaucoup sur celle de l'hydraulicien. Paris en compte un certain nombre qui rentrent dans cette catégorie; parmi les plus belles on peut citer la fontaine des Innocents, ornée des admirables sculptures de Jean Goujon, et la célèbre fontaine de Médicis au jardin du Luxembourg.

Les distributions d'eau modernes, beaucoup plus abondamment alimentées et recevant de l'eau à haute pression, ont permis d'obtenir des effets d'eau plus variés. Le liquide peut déboucher à grande hauteur pour retomber ensuite de vasque en vasque, jaillir en jets verticaux ou inclinés, se prêter en un mot à mille dispositions diverses qui

peuvent donner lieu à d'heureuses combinaisons. A titre d'exemple nous

Fig. 439. — Fontaine de Médicis.

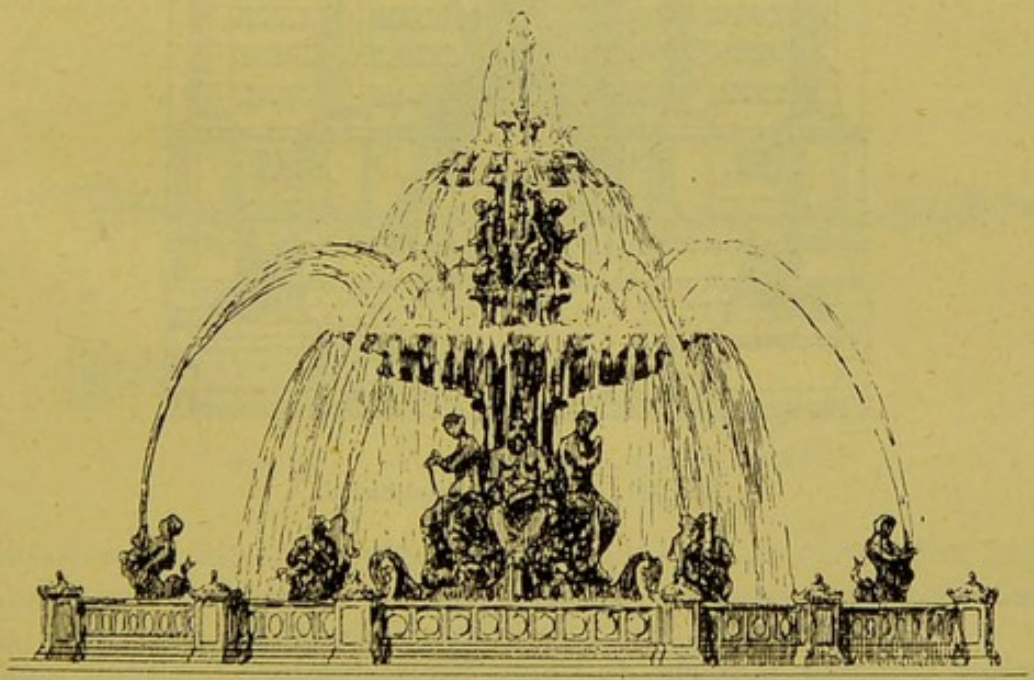


Fig. 440. — Fontaine de la place de la Concorde.

citerons la fontaine Saint-Michel, et les belles fontaines de la place de la Concorde et de l'Observatoire à Paris.

339. Jets d'eau. Gerbes. — Les effets de l'eau en pression, dirigée convenablement par des ajutages spéciaux, peuvent à eux seuls présenter un aspect si décoratif qu'on en est même arrivé à supprimer entièrement dans bien des cas tout ornement architectural : le grand jet

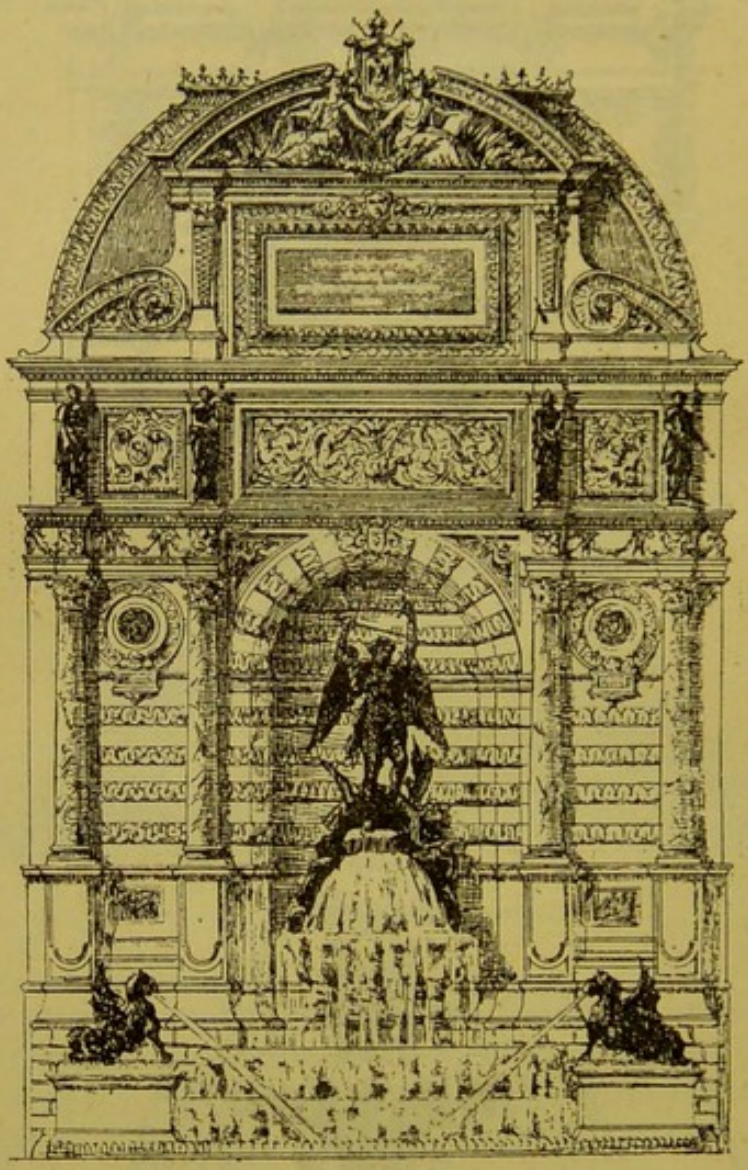


Fig. 441. — Fontaine Saint-Michel.

d'eau des Tuileries, la gerbe du Palais-Royal, malgré l'extrême simplicité de leur disposition, ont fait longtemps l'admiration de tous ceux qui visitaient Paris.

Depuis la transformation du service des eaux, on a multiplié à Paris

les *gerbes*, qui projettent l'eau dans l'atmosphère en jets multiples, de telle sorte qu'elle s'y pulvérise pour retomber en belles nappes blanches, où la lumière en se jouant produit de très heureux effets. Mentionnons

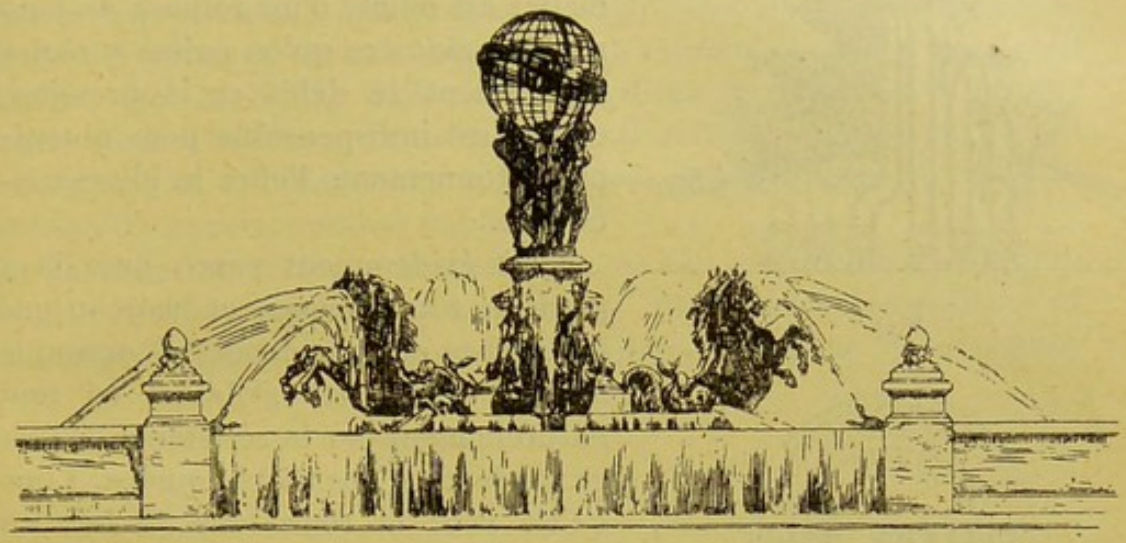


Fig. 442. — Fontaine de l'avenue de l'Observatoire.

les grandes gerbes de la place de la Nation, de la place d'Italie, de la place du Trocadéro, où des centaines d'ajutages convenablement inclinés lancent des torrents d'eau et forment de magnifiques masses de

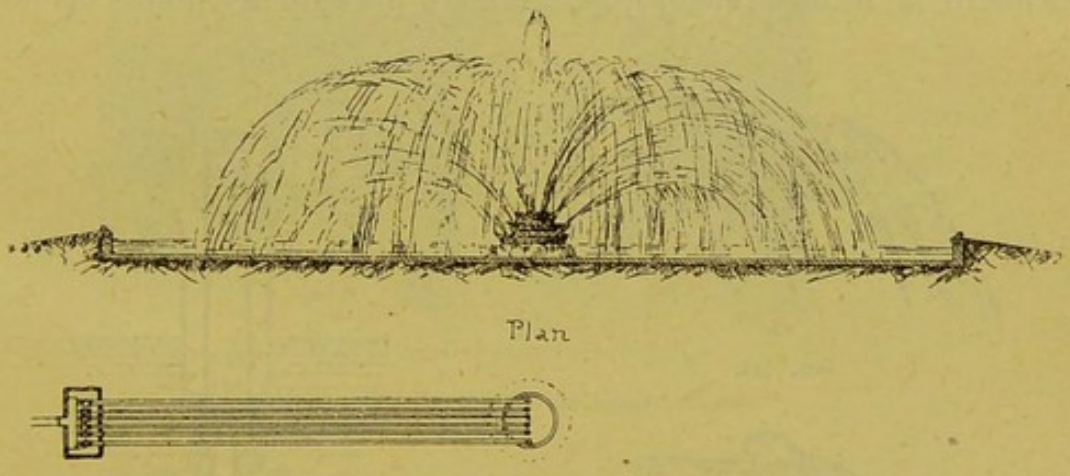
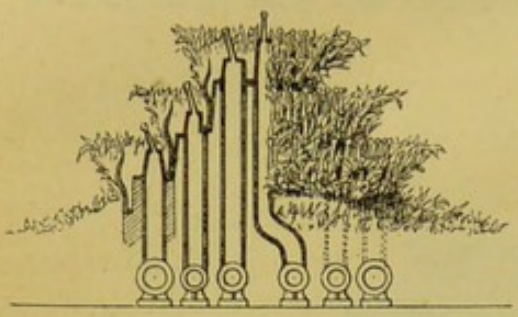


Fig. 443. — Grande gerbe de la place du Trocadéro.

poussière humide, au-dessus d'immenses bassins circulaires, creusés dans le sol pour en mieux faire ressortir la blancheur et tenir les passants hors de la portée des projections.

Ces gerbes sont ordinairement composées de plusieurs couronnes d'ajutages, concentriques et superposées; dans chaque couronne tous les jets ont la même obliquité, et ceux des diverses couronnes se recoupent, afin de faire concourir le choc à la pulvérisation des filets d'eau déjà préparée

par la résistance de l'air. Toute l'eau semble jaillir d'une touffe de roseaux, sorte d'ornement en fonte cuivrée qui a pour rôle de dissimuler à la vue tous les ajustages. La tuyauterie se compose d'autant de conduites qu'il y a de couronnes, et chacune d'elles est munie d'un robinet de barrage de manière qu'on puisse y régler séparément le débit et la pression, ce qui est indispensable pour obtenir par tâtonnements l'effet le plus satisfaisant.



Plan

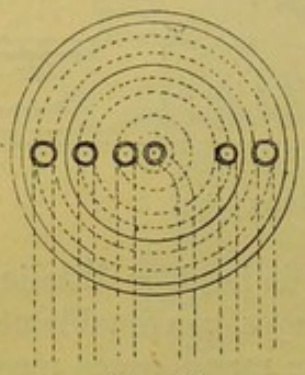


Fig. 444.

C'est évidemment parce que l'eau perd sa transparence et blanchit que les gerbes ont un aspect si agréable à l'œil. Cet effet s'obtient ici tout naturellement par la résistance de l'air et par le choc des filets liquides. Lorsqu'on veut le reproduire, il faut en général offrir un obstacle à l'écoulement de l'eau animée déjà d'une certaine vitesse et faire en sorte que des bulles d'air y soient emprisonnées. Ainsi, on est parvenu à ôter à la grande nappe d'eau de la cascade du Trocadéro la transparence, qui la rendait presque invisible à distance,

Fig. 445.

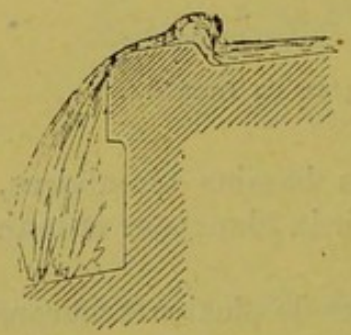


Fig. 446.

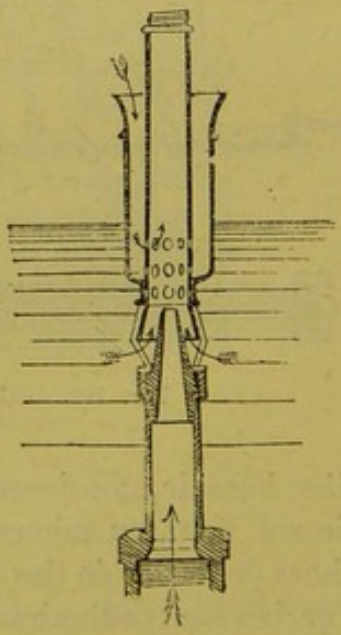


Fig. 447.

en la forçant à se diviser par l'interposition d'un tube horizontal commu-

niquant lui-même avec l'air par une série de petits tubes verticaux (*fig.* 445). Pour les petites chutes de cette même cascade il a suffi de modifier la forme des bavettes (*fig.* 446).

En insufflant directement l'air dans la masse d'eau, on parvient à lui donner un aspect laiteux, qui permet d'obtenir des effets agréables avec un débit très réduit. C'est sur ce principe qu'est fondé le jeu de l'appareil représenté par la figure 447, où un jet d'eau en pression détermine dans une sorte d'injecteur l'entraînement simultané de l'eau du bassin où il est placé et de l'air ambiant; le résultat est remarquable et la consommation d'eau relativement faible.

340. Cascades et rivières artificielles. — Les promenades publiques reçoivent presque toujours aujourd'hui les dispositions irrégulières et capricieuses des jardins anglais; et, lorsqu'on y emploie l'eau comme

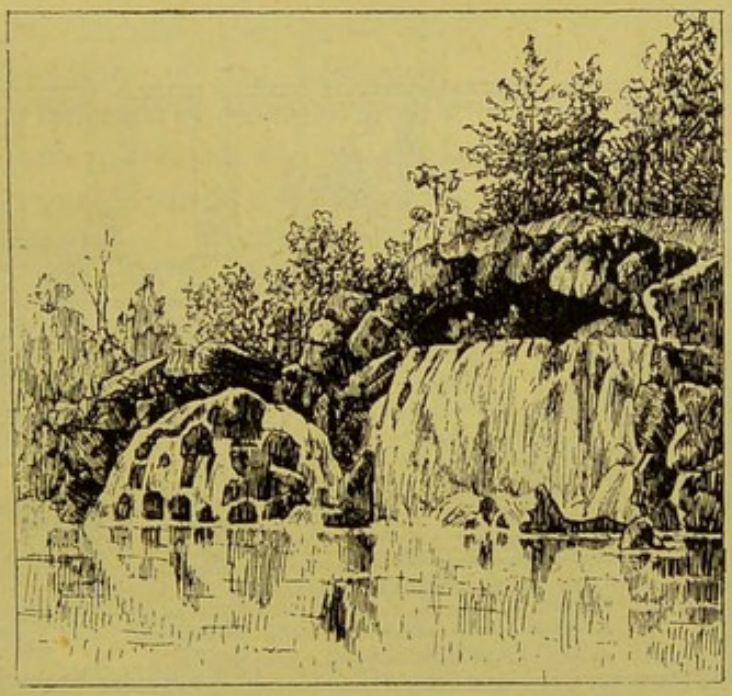


Fig. 448. — Grande cascade de Longchamps.

ornement, il convient de renoncer aux fontaines monumentales, aux vasques de forme régulière qui s'harmonisaient bien avec les lignes sévères des jardins français, comme la fontaine de Médicis, les bassins des Tuileries et du Luxembourg, les pièces d'eau de Saint-Cloud, etc., pour donner la préférence à une imitation savante des effets naturels, et disposer avec art aux endroits les plus appropriés des cascades, des rivières, des lacs artificiels.

Les splendides promenades créées à Paris depuis trente ans offrent un

exemple frappant des heureux résultats que peut donner ce genre d'ornementation. C'est ainsi que le bois de Boulogne, autrefois sablonneux et sec, a été transformé comme par une baguette magique en une promenade délicieuse, grâce à l'eau répandue à profusion au milieu de pelouses verdoyantes et de beaux ombrages; deux grands lacs, plusieurs petits, des ruisseaux d'eau courante, de jolies chutes d'eau et entre autres la grande et belle cascade de Longchamps, embellissent ce parc sans rival.

341. Grandes pièces d'eau. — On s'est proposé parfois de réunir sur un point donné tout ce que l'art de l'hydraulicien et celui de l'architecte peuvent en se combinant produire de plus luxueux, et d'obtenir des effets presque féeriques en faisant entrer dans un même ensemble les dispositions architecturales les plus variées, les statues, les vases, avec les bassins, les vasques, les jets d'eau, les cascades, les gerbes, même les

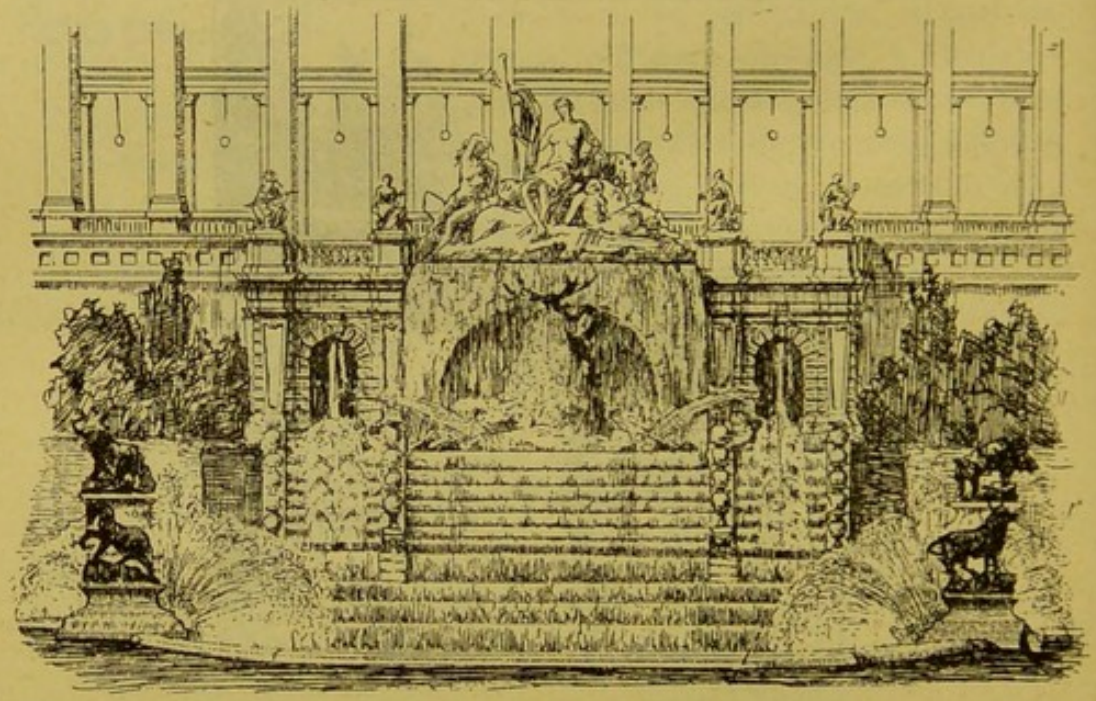


Fig. 449. — Cascade du Trocadéro.

rochers artificiels. C'est cette préoccupation qui a motivé l'établissement des immenses et admirables *pièces d'eau* dont un monarque fastueux a voulu orner le parc de Versailles, en témoignage de sa puissance, et qui lui a fait répandre de toutes parts des torrents d'eau dans un cadre magnifique, à l'emplacement même où l'on ne voyait auparavant qu'un plateau aride et désert.

Parmi les grandes pièces d'eau les plus remarquables, mentionnons la magnifique fontaine de Trevi, à Rome, la belle cascade du parc de Saint-

Cloud, qui mérite d'être citée comme un type du genre, enfin la cascade du Trocadéro, établie à Paris à l'occasion de l'Exposition universelle de 1878 et transformée en 1883. Cette dernière se compose d'effets d'eau très multiples et très variés : à la partie supérieure l'eau s'échappe des urnes tenues par les statues symboliques de la Seine et de la Marne, tombe en nappe immense en avant d'une grotte profonde pour se briser sur des rochers, puis court tout écumante de vasque en vasque par cascades successives jusqu'au bassin inférieur, où elle se précipite par une dernière et triple chute. Deux grandes gerbes ornent ce dernier bassin, douze petites bordent de part et d'autre la cascade, et des animaux fantastiques lancent encore des jets d'eau de toutes parts sur les rochers au pied de la grotte (fig. 449 et 450).

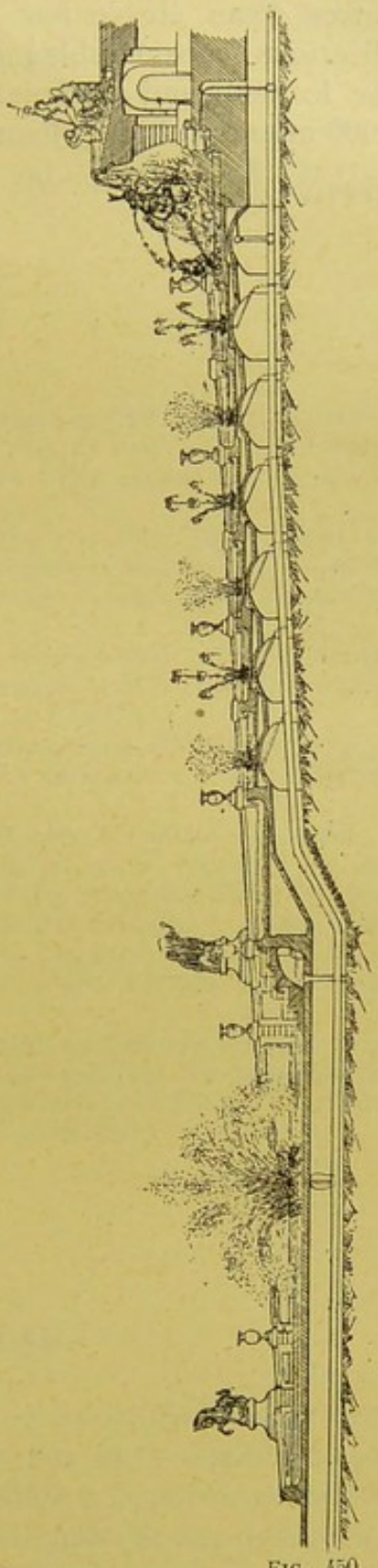


FIG. 450.

Ces grandes pièces d'eau ne sont en somme que la réunion d'un certain nombre d'éléments, qui rentrent chacun dans l'une des catégories précédemment énumérées. Pour qu'elles charment le regard, il faut que les éléments soient combinés de manière à former un ensemble harmonieux, et l'art de les grouper à cet effet est plutôt dans les attributions de l'architecte que dans celles de l'ingénieur. L'installation de la tuyauterie, quelque compliquée qu'elle puisse être, ne soulève d'ailleurs aucune difficulté; il convient seulement de la disposer toujours de telle sorte qu'on en puisse régler à volonté et séparément chacune des parties. Il est souvent plus malaisé d'obtenir une alimentation suffisante; les pièces d'eau de Versailles ne *jouent* qu'une fois par mois et pendant quelques minutes, la cascade de Saint-Cloud une demi-heure par quinzaine; et, si l'on peut à volonté faire fonctionner la cascade

du Trocadéro, on ne la met néanmoins en service que pendant quelques heures chaque dimanche, car elle consomme par seconde plus de 400 litres d'eau élevée par machines à vapeur, et cela malgré les modifications considérables qu'elle a subies précisément en vue de réduire le débit, qui atteignait en 1878 près de 1.000 litres par seconde ou 3.600 mètres cubes à l'heure!

CHAPITRE XIV

VENTE ET LIVRAISON DE L'EAU

SOMMAIRE :

§ 1er. *Vente de l'eau.* — 342. — Limitation des puisages gratuits. — 343. Considérations générales relatives à la vente de l'eau. — 344. Prix de l'eau. — 345. Revenus d'un service d'eau. — 346. Exploitation directe par les villes ou par voie de concession. — 347. L'abonnement obligatoire.

§ 2. *Tarification.* — 348. Divers modes de tarification. — 349. Tarifs basés sur les éléments de la consommation. — 350. Tarifs au mètre cube. — 351. Tarifs d'après le loyer. — 352. Tarifs complexes. Tarifs spéciaux. — 353. Difficulté des comparaisons.

§ 3. *Divers modes de livraison de l'eau.* — 354. Porteurs d'eau. — 355. Anciennes concessions. — 356. Système moderne des abonnements. — 357. Livraison continue. — 358. Livraison intermittente. — 359. Alimentation illimitée.

§ 4. *Abonnements jaugés.* — 360. Avantages et inconvénients des abonnements jaugés. — 361. Appareils de jauge. — 362. Réservoirs particuliers. — 363. Suppléments. Jauges variables.

§ 5. *Abonnements à robinet libre.* — 364. Abonnements à l'estimation. — 365. Usage abusif du robinet libre. — 366. Moyens employés pour réprimer les abus. — 367. Moyens employés pour la recherche et la suppression des fuites intérieures.

§ 6. *Abonnements au compteur.* — 368. Introduction des compteurs. — 369. Conditions que doivent remplir les compteurs. — 370 Divers types de compteurs. — 371. Compteurs de vitesse. — 372. Compteurs de volume. — 373. Vérification des compteurs. — 374. Régime des compteurs à Paris.

§ 7. *Réglementation.* — 375. Conditions d'abonnement. — 376. Installation et entretien de la prise d'eau et du branchement. — 377. Règles relatives aux appareils de jauge et aux compteurs. — 378. Surveillance des canalisations intérieures. — 379. Définition des usages de l'eau. — 380. Interruptions de service.

§ 1er.

VENTE DE L'EAU

342. Limitation des puisages gratuits. — Autrefois l'eau ne pénétrait pas dans les maisons ; elle était distribuée sur la voie publique par des fontaines où tous les habitants étaient admis à la puiser gratuitement, ainsi que cela se pratique encore dans les villages. Seuls, quelques privilégiés obtenaient dans les grandes villes des *concessions particulières*, qui s'accordaient soit à prix d'argent, soit à titre gratuit et comme une récompense publique. D'ailleurs, ces concessions ne tardaient pas, en

général, à provoquer de tels abus qu'il ne restait plus rien pour les fontaines publiques, et que, pour en rétablir le débit, des mesures restrictives s'imposaient, comme on l'a vu plus d'une fois, aussi bien à Paris que dans l'ancienne Rome.

De nos jours les distributions d'eau sont soumises à un régime différent. On a reconnu que l'eau livrée gratuitement à tous les habitants n'en est pas moins payée par tous sous une forme quelconque, puisqu'il faut bien recourir aux deniers des contribuables pour construire et entretenir les ouvrages nécessaires ; et il a paru plus juste de faire contribuer chacun à ces dépenses dans la proportion de l'utilité qu'il en retire, sauf à maintenir pour les habitants pauvres la possibilité de se procurer toujours l'eau à titre gratuit, car elle « ne doit pas plus être mesurée aux « classes peu aisées que ne leur sont mesurés l'air et la lumière. [1] »

L'amenée de l'eau jusqu'à l'intérieur des maisons, devenue la règle habituelle, a donné naissance au système des *abonnements ;* tous ceux qui ne veulent pas s'astreindre à puiser l'eau dont ils ont besoin aux fontaines établies sur la voie publique, et préfèrent l'avoir plus à leur portée, paient sous cette forme le service rendu. Ceux, au contraire, qui se refusent encore à introduire l'eau dans leurs habitations ou qui n'ont pas les moyens de le faire, peuvent se la procurer aux bornes-fontaines, et sans avoir à payer aucune redevance.

D'ailleurs, pour favoriser la diffusion des abonnements, on a presque partout cherché à restreindre par des dispositions réglementaires les puisages gratuits, spécialement destinés à la satisfaction des besoins des ménages pauvres ; il est généralement défendu d'y recourir pour des besoins industriels quels qu'ils soient, et le commerce de l'eau puisée gratuitement aux bornes-fontaines est rigoureusement interdit.

343. Considérations générales relatives à la vente de l'eau. — Quoique répandue partout dans la nature et primitivement sans valeur aucune, l'eau devient en effet une marchandise, quand on a fait des frais pour la capter, l'amener, la distribuer dans toutes les rues d'une ville.

C'est toutefois une marchandise présentant certains caractères particuliers :

Objet d'absolue nécessité, elle ne doit jamais faire défaut ; et la collectivité a intérêt à s'assurer constamment que toutes les mesures sont prises pour réaliser la permanence de l'approvisionnement ;

Agent de salubrité par excellence, elle doit être répandue avec profusion et consommée en grande abondance ; et il est de l'intérêt de tous que le prix en soit réduit dans la mesure du possible.

Or, son prix dépend évidemment des dépenses qu'on aura faites dans chaque cas pour se la procurer ; par suite, les administrations urbaines,

1. Darcy. *Les Fontaines publiques de Dijon*, p. 509.

tout en cherchant à pourvoir largement leurs services d'eau, à obtenir une sécurité parfaite dans l'exploitation, doivent s'efforcer d'y parvenir sans s'écarter des règles d'une stricte économie. C'est dire que les ouvrages doivent être largement conçus pour la satisfaction de l'ensemble des besoins, et qu'il faut éviter avec soin d'éparpiller la dépense de peur de l'accroître sans utilité: de là l'obligation de faire de la distribution d'eau dans une ville un service unique et d'en écarter la concurrence, qui, en l'espèce, ne donnerait que des résultats fâcheux. Le *monopole* est ici dans la nature même des choses. Dès lors la constitution d'un service public pour la distribution de l'eau dans une ville apparaît comme la solution la plus rationnelle; si l'industrie privée peut intervenir avec avantage, c'est seulement sous le contrôle efficace des administrations urbaines et comme un utile auxiliaire, mais non point dans une indépendance qui mettrait l'alimentation de tous à la merci des caprices, des négligences et surtout de l'avidité d'un particulier.

344. Prix de l'eau. — Il résulte des considérations qui viennent d'être exposées que le prix de l'eau ne saurait être soumis à la loi de l'offre et de la demande. Il sera donc établi un peu arbitrairement dans chaque cas. Autant que possible, il devra représenter la valeur du service rendu; suffisant pour couvrir les dépenses, il ne sera pas trop élevé de peur qu'il devienne un obstacle à l'accroissement de la consommation.

Si l'on observe que cet accroissement, si désirable au point de vue de l'hygiène et de la salubrité publique, se produit nécessairement quand le prix de l'eau diminue, et que, d'autre part, le prix de revient va d'ordinaire en s'abaissant à mesure que le volume d'eau distribué augmente, ne faut-il pas en conclure qu'il y a un double intérêt à donner aux services d'eau tout le développement dont ils sont susceptibles? Beaucoup d'eau à bon marché: voilà l'idéal.

Il n'est guère réalisé dans la plupart des anciennes distributions d'eau, où la quantité fait généralement défaut et où le prix est, en même temps, relativement élevé. Aussi, lorsqu'on en aborde la transformation ou la réfection, ne doit-on pas hésiter à concevoir les nouveaux ouvrages d'une façon beaucoup plus large, et à rechercher une alimentation en rapport avec les progrès présumés de la consommation générale.

Quant à la valeur absolue de l'eau distribuée, au prix qu'on peut lui appliquer, il ne saurait être fourni d'indications précises à cet égard : rien n'est évidemment plus variable d'une localité à l'autre. Comme le fait remarquer judicieusement Dupuit, l'eau peut être vendue beaucoup plus cher dans une ville située sur une hauteur, et alimentée jusqu'alors par des puits très profonds fournissant de l'eau de mauvaise qualité, que dans telle autre plus favorisée, où les habitants trouvent à leur portée et se procurent sans peine une eau parfaitement acceptable pour la satisfaction de leurs besoins. D'autre part le prix de revient est très différent, suivant les ressources disponibles pour l'alimentation, selon qu'on trouve

l'eau dans le voisinage ou à grande distance, qu'une dérivation est possible ou une élévation par machines nécessaire, qu'on utilise une force motrice naturelle ou qu'il faut recourir à la vapeur. En outre, le prix de revient de l'eau vendue s'écarte notablement, dans la plupart des cas, de celui de l'eau amenée, car le déchet peut être considérable, et, grâce à la facilité donnée aux abonnés de consommer comme et quand ils veulent, une forte proportion de l'eau amenée se trouve souvent perdue. Tantôt aussi on veut couvrir par les recettes à provenir des abonnements les dépenses faites pour le service public, le lavage et l'arrosage des rues, etc.; tantôt, au contraire, ces dépenses font l'objet d'un compte à part et n'entrent pas dans le calcul du prix de l'eau livrée aux particuliers.

Ce qu'il importe d'éviter, c'est que le prix de l'eau, quel qu'il soit, ne vienne à être majoré par des intermédiaires. On a poursuivi énergiquement à Paris et fait disparaître ceux qui avaient tenté de se livrer à ce genre de spéculation, en offrant aux propriétaires de se charger de l'installation de l'eau dans leurs immeubles, moyennant l'abandon du droit de rançonner les locataires, qui payaient au décuple les frais de cette installation. Mais on n'a pas pu encore y supprimer les abus dont un bon nombre de propriétaires se rendent coupables, en faisant payer l'eau à leurs locataires beaucoup plus cher qu'ils ne la paient eux-mêmes, et c'est sans doute ce qui a motivé l'opinion fort accréditée, mais parfaitement inexacte, en vertu de laquelle on a maintes fois dit et répété que l'eau est vendue fort cher à Paris.

345. Revenus d'un service d'eau. — Il arrive assez souvent que les municipalités reculent devant les dépenses à faire pour la création ou l'amélioration d'un service d'eau, parce qu'elles se refusent à croire que les revenus à provenir de la vente de l'eau puissent jamais couvrir sinon la totalité, du moins une notable partie de ces dépenses. Or la pratique démontre que c'est une erreur.

Au début, sans nul doute, dans les villes où l'on s'alimentait précédemment au moyen de puits, de citernes, de petites sources locales, les anciens modes d'alimentation ne sont pas immédiatement abandonnés; les habitudes invétérées ne cèdent qu'avec une assez grande lenteur, et il faut plusieurs années pour que le mouvement de progrès se dessine. Mais il se produit fatalement; et partout l'eau en pression fournie par la canalisation publique finit par s'imposer, remplaçant peu à peu les installations particulières, qui exigent plus de soins sans rendre autant de services, et ne fournissent d'ailleurs, la plupart du temps, qu'une eau plus ou moins suspecte.

Un des obstacles que rencontre la généralisation rapide des abonnements est, à coup sûr, le prix élevé des installations à faire à l'intérieur des immeubles: tuyaux en plomb, robinets en bronze, appareils divers; tout cela coûte assez cher, d'autant que l'emploi de matériaux de qualité

supérieure et de formes suffisamment résistantes est de rigueur quand il s'agit de distribuer de l'eau en pression. Darcy a déjà constaté cette difficulté à Dijon en 1855 ; et, pour y remédier, il demandait que la ville prît à sa charge la prise d'eau et le branchement jusqu'à la façade de la maison à desservir, et favorisât, par l'allocation d'une prime ou des réductions temporaires sur le prix de l'abonnement, la pose de la canalisation intérieure. Ces mesures sont expérimentées à Paris depuis 1880 : la Ville pose gratuitement la prise, le branchement et la colonne montante dans toute maison où on lui assure pour une durée de cinq années un abonnement minimum extrêmement modeste, 16 fr. 20 par étage ; elle se charge aussi, depuis le 14 octobre 1885, de la pose gratuite de la conduite principale dans toute voie privée où les abonnements souscrits atteignent le cinquième du montant de la dépense à faire pour ce travail. Ces encouragements matériels n'ont produit que des résultats insignifiants, parce qu'à Paris, comme dans d'autres villes, l'introduction de l'eau dans les maisons se heurte à un obstacle très grave, la fosse fixe, et que les propriétaires font la guerre à l'eau à cause du prix élevé de la vidange : la disparition des fosses serait certainement le signal d'un développement considérable de la consommation d'eau.

Quoi qu'il en soit, il n'est pas de ville où la création d'un service d'eau ne soit la source d'un revenu assuré et relativement important. Ce revenu sera proportionnellement plus élevé dans les grandes villes que dans les petites, dans les cités industrielles que dans les centres commerçants ou agricoles, parce que le besoin d'eau y est plus impérieux ; il sera très élevé surtout dans les stations balnéaires et les centres de villégiature, qui reçoivent à un moment donné une population flottante considérable, et doivent offrir aux visiteurs des installations hygiéniques et luxueuses. En laissant de côté ces cas exceptionnels, on peut dire qu'en France « toute ville d'importance moyenne, si elle est passable-« ment pourvue d'eau, arrive en quelques années, avec un tarif modéré « et à la seule condition de bien organiser le service, à tirer des abonne-« ments un produit d'au moins 1 fr. 75 à 2 francs par tête et par an[1]. »

Voici d'ailleurs à ce sujet quelques chiffres relevés en 1883 :

	Population	Revenu de la distribution d'eau — Total	— Par tête
Neuilly sur-Seine.....	21.000 habitants.	135.000 fr.	6,43
Melun.....	12.000 —	70.000	5,85
Nice.....	80.000 —	322.000	4,02
Argenteuil.....	10.000 —	30.000	3 »
Arras.....	27.000 —	80.000	2,96
Saint-Denis.....	35.000 —	100.000	2,85
Saint-Étienne.....	124.000 —	348.000	2,81

1. Couche. *Rapport sur l'alimentation de Brive.*

	Population		Revenu de la distribution d'eau — Total	Par tête
Nantes	120.000	habitants	320.000 fr.	2,67
Choisy-le-Roi	6.000	—	16.000	2,65
Saint-Ouen	17.000	—	45.000	2,60
Boulogne-sur-Seine	22.000	—	50.000	2,27
Niort	22.000	—	50.000	2,27
Orléans	50.000	—	110.000	2,20
Clichy-la-Garenne	18.000	—	40.000	2,20
Chartres	20.000	—	44.000	2,20
Dieppe	22.000	—	45.000	2,05
Calais et Saint-Pierre	50.000	—	90.000	1,80
Reims	90.000	—	160.000	1,78
Blois	21.000	—	37.000	1,76
Tours	48.000	—	81.000	1,69
Valenciennes	26.000	—	36.000	1,38
Bourges	40.000	—	54.000	1,35
Dijon	48.000	—	57.000	1,19
Le Mans	55.000	—	55.000	1 »
Troyes	46.000	—	46.000	1 »
Dunkerque	35.000	—	31.000	0,89
			Moyenne....	2,42

A Paris, la recette atteint environ dix millions de francs par an pour une population de 2.300.000 habitants, soit par tête 4 fr. 35.

En Angleterre et aux États-Unis, où l'eau est employée en plus grande abondance, les résultats obtenus sont bien supérieurs ; il n'est pas rare d'y rencontrer des villes où le revenu brut de la distribution d'eau atteint 5 à 10 francs par tête ; à Détroit (Michigan) en 1880 il s'élevait à 3 dollars 28, soit 16 fr. 40 !

346. Exploitation directe par les villes ou par voie de concession. — La distribution d'eau est dans toutes les villes, à de rares exceptions près, un service public. Mais le mode d'exploitation n'est pas toujours le même : tantôt c'est la municipalité qui exploite en régie et par des agents qu'elle nomme et dirige elle-même, tantôt elle afferme ou concède la distribution pour un temps déterminé à un particulier ou à une compagnie.

Chacun de ces deux systèmes a ses avantages et ses inconvénients.

Le premier, s'il est appliqué par des administrateurs éclairés et habiles, sachant se rendre indépendants des préoccupations électorales et des influences de clocher, et s'entourant d'agents intelligents et expérimentés, doit être manifestement plus économique puisqu'il ne comporte pas de bénéfice à réserver à l'intermédiaire, et meilleur en même temps au point de vue de la satisfaction des besoins publics puisqu'il écarte tout intérêt commercial. Mais assez souvent on ne saurait réaliser les conditions indispensables pour le succès, surtout dans les loca-

lités peu importantes où le budget est restreint et où le personnel fait défaut. Alors le service sera généralement mieux fait et plus économiquement par un concessionnaire, malgré le bénéfice légitime qu'il prélèvera nécessairement à titre de rémunération de ses peines et pour couvrir les risques qu'il lui faut courir.

Souvent, du reste, les municipalités ont recours à une concession pour se procurer l'argent nécessaire aux travaux de premier établissement du service d'eau : le concessionnaire se charge, moyennant l'abandon des revenus pendant une période d'un certain nombre d'années, d'exécuter les ouvrages et d'assurer l'exploitation. Il ne faut pas se dissimuler que ce procédé doit être en général moins avantageux que l'emprunt direct : car, d'un côté, toute ville dont la situation financière est satisfaisante emprunte à meilleur compte qu'un particulier ; et, de l'autre, le montant des dépenses prévues, qui est une des bases du traité de concession, serait généralement réduit par l'effet de la concurrence si les travaux s'exécutaient par adjudication. Aussi la tendance actuelle en France est-elle franchement favorable à l'exécution directe des travaux par les villes.

Quant à l'exploitation, si les unes tiennent à la faire en régie et vont même jusqu'à racheter les concessions en cours, il en est d'autres qui, après avoir essayé de ce régime, se sont fatiguées des difficultés rencontrées et l'ont affermée de préférence. Il semble cependant que, plus la connaissance de ces questions se répand, plus la nécessité des distributions d'eau est comprise, plus la probabilité du revenu à en attendre apparaît clairement, plus on est disposé à écarter le système des concessions et à faire entrer entièrement les services d'eau dans les attributions des agents municipaux.

A Paris, le régime actuellement en vigueur est un mode d'exploitation mixte, résultant d'une transaction intervenue en 1860 lors de l'annexion de l'ancienne banlieue. La Ville, qui faisait en régie le service des eaux dans le périmètre de l'enceinte des fermiers généraux, dut racheter alors à la Compagnie générale des eaux les concessions dont elle jouissait dans toutes les communes annexées, et l'une des conditions du rachat fut l'établissement d'une *régie intéressée* s'appliquant à toute l'étendue du nouveau Paris et confiée à la Compagnie pour une durée de 50 années. La Ville a seule la charge de l'alimentation, elle fait seule tous les travaux d'adduction et de canalisation sans aucune intervention de la Compagnie : celle-ci est chargée de l'exploitation commerciale, réduite à la recherche des abonnements et à l'encaissement des produits. Ce système, grâce au contrôle rigoureux auquel il est soumis d'ailleurs, a donné de très bons résultats ; il restreint le rôle de la Compagnie à ce qui convient bien à l'industrie privée et réserve au service municipal ce que l'administration est à même de faire dans les conditions les plus avantageuses, de telle sorte que, tout complexe et bizarre qu'il

semble au premier abord, il n'apparaît pas moins après quelque réflexion comme assez satisfaisant et rationnel.

347. L'abonnement obligatoire. — Les progrès de l'hygiène urbaine ont profondément modifié les idées autrefois répandues au sujet de la fourniture de l'eau aux habitants des villes. Alors qu'on croyait avoir largement fait les choses, il y a quelque trente ans, quand on avait multiplié les bornes fontaines et obtenu un petit nombre d'abonnements, on trouve aujourd'hui que ce n'est point suffisant, et qu'il faut amener l'eau partout où elle est nécessaire, dans toutes les maisons et à tous les étages.

L'Angleterre et les États-Unis sont entrés rapidement dans cette voie nouvelle, et les habitations y sont en général parfaitement alimentées. En France, le mouvement ne se produit qu'avec lenteur ; la routine et les intérêts particuliers y font obstacle à une transformation devenue nécessaire, et il faudra du temps pour en avoir raison si l'on ne veut pas recourir à l'emploi de moyens coercitifs. Beaucoup de propriétaires redoutent les dégâts que peut causer l'eau dans leurs immeubles, ou reculent devant les dépenses d'installation et l'augmentation des charges annuelles. A Paris même, sur 75.000 maisons, plus de 20.000 ne sont pas abonnées !

Pour faire cesser cette fâcheuse résistance et dans un but de salubrité publique, on en est venu à proposer de rendre l'abonnement aux eaux *obligatoire*, dans les grandes villes tout au moins. Berlin a mis ce système en pratique et s'en trouve bien. Le conseil municipal de Paris vient de le voter en principe [1], et peut-être le moment n'est-il pas éloigné où l'application en sera faite ; dès lors, l'eau ne sera plus, comme elle est malheureusement encore aujourd'hui un luxe presque inconnu du pauvre auquel elle est cependant si nécessaire, les ménagères seront dispensées des pénibles corvées qu'elles ont à s'imposer encore trop souvent pour se la procurer en quantité insuffisante, et l'assainissement des logements d'ouvriers aura fait un grand pas.

On se demandera peut-être si, l'abonnement devenant obligatoire, il n'y aurait pas lieu de revenir au système des fournitures d'eau gratuites, en remplaçant dans les budgets communaux le produit des recettes du service des eaux par une simple augmentation des impôts. C'est là, croyons-nous, un écueil qu'il faudra soigneusement éviter ; même avec l'obligation, il n'y en aura pas moins des consommations d'eau industrielles ou de luxe, qu'il sera juste de faire payer par ceux-là seulement à qui elles profitent, et, comme la distinction entre les fournitures obligatoires et facultatives serait chose délicate, le mieux sera d'éviter toute difficulté à cet égard en continuant à faire payer l'eau directement et suivant l'importance de la consommation de chacun.

1. Délibération du 22 décembre 1886.

§ 2.

TARIFICATION

348. Divers modes de tarification. — La vente de l'eau donne lieu dans chaque localité à une *tarification* spéciale dont les bases sont loin d'être uniformes, et qui est intimement liée avec le mode de livraison de l'eau.

L'étude de cette tarification doit être dirigée, d'après Dupuit, de telle sorte que toute l'eau disponible reçoive un utile emploi, et que l'exploitant soit intégralement indemnisé des dépenses qu'il a faites ; ou encore de manière que chacun obtienne ce dont il a besoin et paie suivant ses facultés. Il faut reconnaître que ce sont là des conceptions idéales bien difficiles à réaliser en pratique. Au reste bien des circonstances particulières interviennent, et, comme Dupuit le fait remarquer lui-même, « l'étude du tarif de la vente de l'eau est une étude toute locale : « un tarif qui réussirait dans une ville, ne réussirait pas dans une « autre [1]. »

Le même auteur accordait sa préférence au système dit *à discrétion*, en vertu duquel, moyennant une redevance fixe établie d'après un calcul préalable, chacun peut consommer à son gré la quantité d'eau qui lui convient : « dans toute distribution d'eau nouvelle, disait-il, ce n'est pas « l'eau qui manque, mais l'abonné ; et celui-ci ne vient pas souvent, à « cause du tarif. » Cette opinion, qui avait alors sa valeur, ne serait plus guère de mise aujourd'hui, car presque partout c'est l'eau qui est venue à manquer par suite d'un accroissement tout à fait imprévu de la consommation, et dans nombre de villes le gaspillage a dû faire proscrire l'abonnement à discrétion.

Dans certains services on a vendu le mètre cube d'eau à un prix absolument uniforme. Ce système fort simple, et qui au premier abord paraît répondre mieux que tout autre aux idées égalitaires en faveur dans notre démocratie, se trouve être peu équitable : l'eau coûte en effet plus cher en un point qu'en un autre, elle peut être plus utile ici que là, pourquoi la taxer toujours au même prix ? Ne serait-ce pas substituer à la variété, qui est dans la nature même des choses, une uniformité artificielle et arbitraire ?

Aussi, malgré sa simplicité, ce système n'est-il pas répandu ; et presque partout on a eu recours à des modes de tarification assez complexes, très différents d'ailleurs suivant le but qu'on s'est proposé. Tantôt on a cherché à favoriser les petits abonnements, afin d'offrir aux ménages

1. Dupuit. *Traité de la conduite et de la distribution des eaux*, p. 125 (2e édition).

pauvres la possibilité de se procurer l'eau à bon compte ; tantôt, au contraire, pour encourager à la consommation et venir en aide à l'industrie, on a fait des avantages particuliers aux gros abonnés : de là des tarifs dits *progressifs* ou *différentiels*. Ailleurs les prix varient avec la nature de l'eau (source ou rivière), avec l'usage qui en est fait (domestique ou industriel), avec l'altitude (étage haut, étage bas), avec l'époque de l'année (été ou hiver), etc.

A titre d'exemple de tarif différentiel nous donnons ci-dessous un

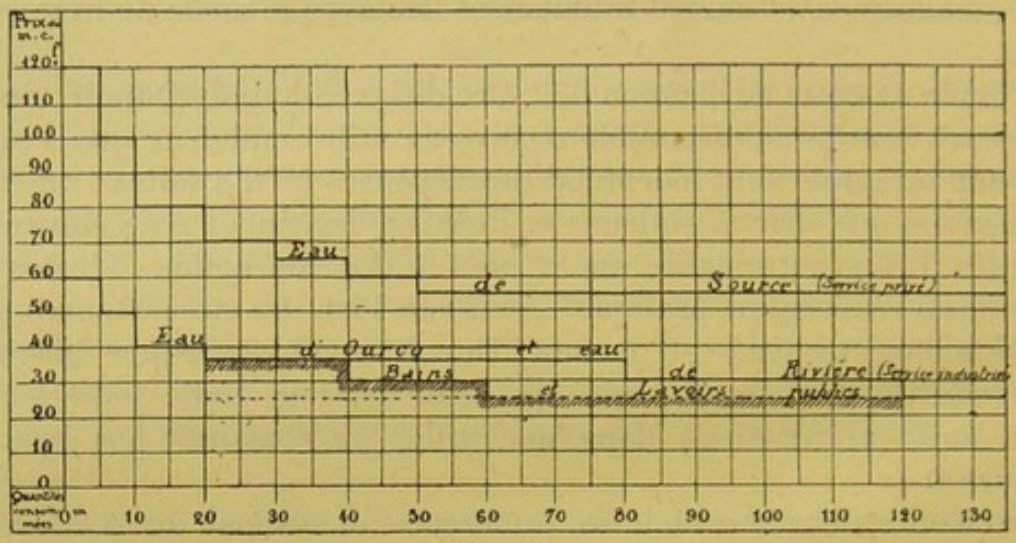


FIG. 451.

graphique résumant la tarification actuelle des eaux de Paris, du moins en ce qui concerne les livraisons au mètre cube :

349. Tarifs basés sur les éléments de la consommation. — Souvent les abonnements desservis à discrétion donnent lieu, pour chaque prise d'eau, à un calcul de la taxe correspondante, d'après des bases qui sont déterminées par le tarif même.

Une première fraction de la taxe est fixée selon le nombre de personnes alimentées ou le nombre de pièces habitées, avec un minimum par ménage. Viennent ensuite des perceptions additionnelles, pour chaque personne ou chaque pièce en sus, pour chaque tête d'animal, ou par mètre carré de cour ou de jardin, par appareil, par baignoire, par robinet, etc. Le tarif est donc presque toujours assez compliqué.

Les circonstances qui servent de base à l'estimation étant nécessairement variables, il faut s'assurer de temps à autre qu'elles n'ont point subi de modification, afin d'éviter l'introduction d'abus qui pourraient devenir graves, et de changer, s'il y a lieu, le montant de la taxe perçue.

Le taux des redevances varie beaucoup d'une localité à l'autre. Souvent le prix de l'eau, par personne, descend à 4, 3 et même 2 francs par an ; mais presque toujours le minimum par ménage oscille entre 20 et 50 francs. A Grenoble il est de 24 francs pour un ménage composé d'une seule personne, à Paris de 16 fr. 20 seulement pour trois personnes desservies par un robinet unique sur l'évier de la cuisine. La taxe supplé-

mentaire pour chaque robinet en sus du premier est le plus souvent comprise entre 4 et 20 francs par an ; elle est ordinairement différente suivant la nature et l'usage du robinet, water-closet, bain, cabinet de toilette, laverie, écurie, etc. Pour un cheval on compte de 3 à 8 francs, pour un mètre carré de jardin de 0,02 à 0,15 etc.

350. Tarifs au mètre cube. — Quand l'eau doit être payée d'après la quantité consommée, ou suivant l'expression courante au *mètre cube*, on procède soit par estimation préalable, soit par mesurage direct au moyen de la *jauge* ou du *compteur*.

Dans le premier cas les tarifs fixent d'avance les bases d'estimation, qui diffèrent d'une ville à l'autre, suivant le climat, les habitudes locales, etc.; dans le second ils ne donnent que les prix, presque toujours multiples, parce qu'ils varient ordinairement soit avec les types d'abonnement, soit avec les quantités moyennement consommées, soit avec les usages de l'eau, etc.

Les limites entre lesquelles se tient généralement le prix du mètre cube d'eau sont fort étendues ; on conçoit qu'il en doit être ainsi à cause de la valeur si essentiellement variable de l'eau, à cause des différences si grandes dans les prix de revient, les ressources locales, les difficultés de l'alimentation, l'importance des distributions; on en jugera par un coup d'œil sur le tableau suivant, où sont groupés un certain nombre d'exemples empruntés aux tarifs en vigueur :

Banlieue de Paris	0,45
Vienne (Autriche)	0,44
Versailles	0,40
Berlin	0,375
Heidelberg	0,35 à 0,18
Paris	0,33 à 0,08
Francfort sur le Mein	0,31 à 0,18
Le Havre, Rennes, Rouen	0,30
Orléans	0,27
Clermont	0,25
Saint-Étienne	0,22
Bâle, Toulouse	0,20
Angers, Lyon, Reims	0,18
Bordeaux, Dresde, Strasbourg	0,15
Zurich	0,15 à 0,05
Dijon, Leipzig, Lille	0,14
Tours	0,13 à 0,08
Roubaix et Tourcoing	0,13 à 0,07
Berne	0,10
Genève	0,10 à 0,08
Grenoble	0,055

Il convient de remarquer ici que le prix du mètre cube d'eau devrait aussi différer avec le mode de livraison choisi. Il est clair, en effet, que l'abonnement à discrétion laisse à l'abonné une marge très grande ; souvent il peut consommer deux ou trois mètres cubes, alors qu'il

n'en paie qu'un. Avec la jauge, la marge est moindre, mais supérieure cependant à celle qu'admet le compteur : car la tolérance peut être réduite avec ce dernier appareil à 15, 10, 8 pour 100, tandis que, pour parer aux changements de débit résultant des variations diurnes de la pression, il faut généralement régler la jauge avec une majoration de 25 à 30 pour 100.

351. Tarifs d'après le loyer. — Un mode de tarification, très répandu à l'étranger, et particulièrement applicable aux abonnements à discrétion et aux livraisons d'eau intermittentes, prend pour base le prix du loyer de la maison desservie.

Ce système est assez séduisant, car il proportionne la redevance aux ressources de l'usager, le loyer étant la manifestation la plus palpable du revenu. Mais il ne convient qu'à l'eau employée aux usages domestiques; et, comme tous les modes de tarification impliquant la livraison de l'eau à discrétion, il n'est pas sans danger : car la consommation peut venir à augmenter tout à coup sous l'influence d'une transformation dans les usages et les mœurs, alors que la recette demeurera stationnaire ou même diminuera, s'il se produit en même temps une baisse des loyers, et l'exploitant verra ses charges s'accroître rapidement, mais non ses revenus.

Depuis longtemps usité en Angleterre, ce mode de tarification a trouvé des applications aussi en Allemagne et aux États-Unis. En général le taux varie de 1 à 5 pour 100, c'est-à-dire que, pour un loyer de 100 francs, la taxe afférente à la fourniture d'eau est comprise entre 1 et 5 francs. A Londres, le taux est, suivant les Compagnies, de 4 1/2 à 7 pour 100 : mais des réductions sont faites pour les gros loyers, et des suppléments perçus pour les robinets additionnels.

Parfois, au lieu du loyer, on prend pour point de départ de la taxation, le montant des impositions, la prime d'assurance, un autre moyen quelconque d'atteindre le revenu. Le principe est le même ; il s'agit seulement d'une variante dans l'application.

352. Tarifs complexes. Tarifs spéciaux. — Il arrive fréquemment que plusieurs systèmes de tarification sont à la fois en usage dans la même ville. Tantôt ils sont appliqués parallèlement, et l'on peut à son gré, par exemple, s'abonner au mètre cube ou payer une redevance fixe calculée d'après le taux du loyer. Tantôt ils se combinent et donnent lieu à un tarif unique, mais complexe, où les différents types d'abonnements sont soumis à des régimes divers, où à une redevance calculée soit d'après le taux du loyer, soit d'après les éléments de la consommation, viennent s'ajouter certains suppléments de taxe établis sur des bases tout autres, etc.

Nous venons de voir, par exemple, qu'à Londres le loyer est la base de la taxation, mais qu'à la redevance calculée d'après le loyer on fait, suivant les cas, des modifications de diverse nature : certains appareils

sont considérés comme supplémentaires, les robinets placés au delà d'un certain niveau au-dessus du sol donnent lieu à une surtaxe, etc. A Paris, la règle générale depuis 1880 est le paiement de l'eau d'après la quantité consommée et suivant un tarif différentiel; mais, en même temps, le régime de la livraison de l'eau à discrétion et des redevances fixes, calculées d'après le nombre d'habitants et les robinets dont ils font usage, est appliqué à certains abonnements domestiques.

Souvent aussi, à côté du tarif général, d'autres tarifs sont mis en vigueur pour des usages spéciaux, pour certaines natures d'industrie, pour les livraisons d'eau temporaires ou par attachements, etc.

Parfois certaines dérogations au tarif général sont prévues et réglementées ; c'est ainsi que, tout en payant une redevance calculée sur une consommation déterminée par jour, on sera autorisé, dans certains cas, à la dépasser en été, sauf à se tenir au-dessous en hiver ; dans d'autres, au contraire, ce mode de compensation étant interdit, les consommations supplémentaires d'été sont comptées à part et à un taux plus élevé.

353. Difficulté des comparaisons. — L'aperçu qui précède, quelque rapide et sommaire qu'il soit, suffit sans doute pour faire ressortir la très grande diversité qui règne dans le régime de la tarification de l'eau. Les combinaisons multiples des tarifs sont, en général, avantageuses et pour les usagers dont elles satisfont les exigences, et pour les exploitants à qui elles facilitent la vente de l'eau. Mais elles rendent les comparaisons d'une ville à l'autre extrêmement difficiles, et il en résulte très souvent des appréciations inexactes, conséquence fort naturelle d'un examen incomplet.

Ainsi, l'eau, vendue à Grenoble 0 fr. 055 le mètre cube, semble y être d'un bon marché véritablement exceptionnel, et l'on doit croire, au premier abord, qu'un ménage y paie l'eau beaucoup moins cher que dans la plupart des autres villes, qu'à Paris notamment, où le mètre cube est tarifé 0,33, c'est-à-dire à un taux six fois plus élevé. Or, c'est le contraire qui est vrai, car le minimum de perception, pour un ménage composé d'une seule personne, est de 24 francs à Grenoble, et il faut y ajouter 2 francs pour chaque personne en plus, tandis qu'à Paris, un ménage de trois personnes peut s'abonner pour 16 fr. 20 seulement, et le même prix y est applicable à un *robinet de palier* affecté à l'usage de plusieurs petits logements situés au même étage d'une maison.

De même, quoi qu'on en ait dit bien souvent, l'eau est vendue aussi cher, sinon plus, à Londres qu'à Paris. Dans une maison d'importance modeste, avec water-closet et salle de bains, habitée par cinq personnes et dont le loyer serait de 1250 fr., la redevance à payer pour l'eau varierait, à Londres, entre 62 fr. 50 et 106 fr. 35, suivant les compagnies : à Paris, dans les mêmes conditions, elle serait de 52 fr. 20[1].

1. Couche. *Les Eaux de Londres et d'Amsterdam*. 1883.

Il faut donc se garder de déclarer que l'eau est chère ici et qu'elle ne l'est point là, sans avoir examiné de très près les tarifs appliqués dans les diverses localités entre lesquelles la comparaison s'établit. Très souvent, du reste, une étude même approfondie ne saurait fournir de conclusion absolue, car les tarifs peuvent être établis de telle sorte que, suivant les cas, l'avantage se trouve tantôt d'un côté, tantôt de l'autre.

§ 3.

DIVERS MODES DE LIVRAISON DE L'EAU.

354. Porteurs d'eau. — Avant l'établissement des distributions d'eau modernes, pour se faire livrer l'eau dans leurs maisons, les habitants des grandes villes devaient avoir recours aux *porteurs d'eau* qui allaient la puiser soit au cours d'eau voisin, soit à quelque source, soit aux fontaines publiques. C'était jadis l'unique système appliqué à Paris, et la génération actuelle n'a pas encore besoin de remonter bien loin dans ses souvenirs pour se rappeler la file des petits tonneaux à bras, qui s'alignaient tous les matins, en chacun des points fixés par le puisage,

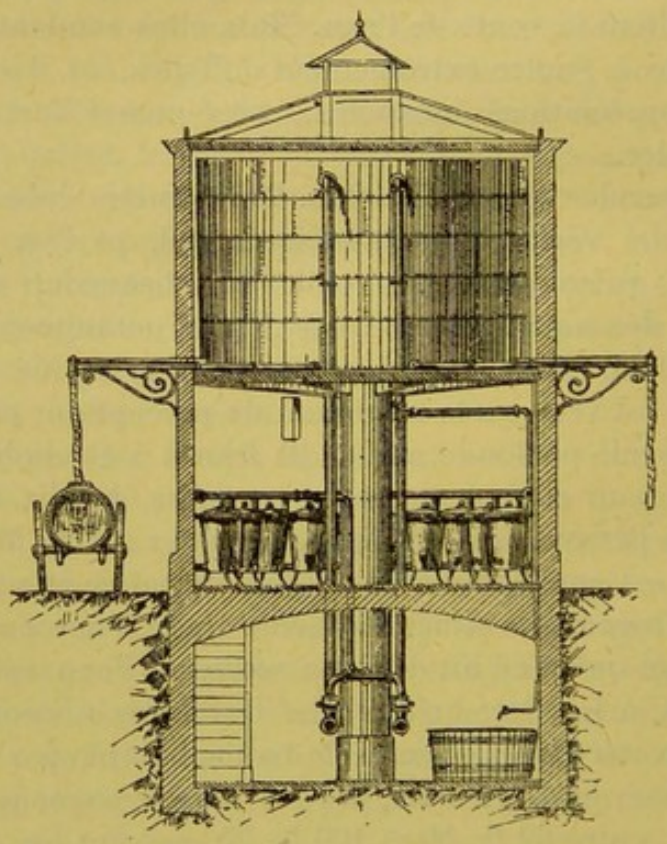


FIG. 452. — Fontaine marchande du carré Saint-Martin.

et le robuste Auvergnat, portant en équilibre sur une épaule la barre de bois cintrée, à laquelle étaient suspendus les deux seaux de métal

dont le contenu représentait la *voie* d'eau. Le type de la porteuse d'eau de Venise a été popularisé par la gravure. On retrouverait un peu partout la trace de cette organisation primitive.

Dans quelques villes, lorsqu'on en est venu à une taxation de l'eau, on a commencé par réglementer les puisages gratuits aux fontaines publiques, qui furent interdits aux porteurs d'eau. Ils durent alors aller chercher l'eau en certains points spécialement désignés, où elle ne leur était livrée que moyennant redevance. Paris a passé par cette phase, et, pendant une assez longue période, la majeure partie de l'eau consommée a été fournie par les *fontaines marchandes,* où elle subissait une filtration préalable, et où les porteurs d'eau étaient tenus de s'approvisionner, en payant 1 fr. par mètre cube. De leur côté ils vendaient l'eau à leurs clients à raison de 0 fr. 10 la voie de 15 litres, ce qui revenait à 6 fr. 65 le mètre cube, vingt fois plus exactement qu'on ne paie aujourd'hui. Ce prix exorbitant explique la faible consommation d'alors ; il est d'ailleurs la conséquence obligée du système, qui est à la fois incommode et dispendieux.

355. Anciennes concessions. — Quelques privilégiés seulement recevaient l'eau à domicile, grâce aux *concessions* dont ils avaient obtenu la jouissance, et qui étaient desservies par des conduites en plomb, partant des châteaux d'eau annexés à un certain nombre de fontaines publiques.

L'unité de mesure était le *pouce fontainier*, c'est-à-dire la quantité d'eau passant par seconde à travers une ouverture de 1 pouce carré de section sous une charge de 1 ligne au-dessus du bord supérieur de l'orifice. Le pouce fontainier correspond à un peu plus de 19 mètres cubes par 24 heures (exactement $19^{mc},1953$.)

La *ligne*, qui est la 144e partie du pouce, soit $0^{mc},133$ par 24 heures, se vendait à Paris 200 livres. Ce prix relativement élevé, joint à l'obligation de faire les frais d'un long tuyau de plomb, pour peu que la maison desservie fût éloignée du château d'eau, ne permettait guère qu'aux familles les plus riches de se donner le luxe d'une concession d'eau. Aussi n'y en avait-il pas plus de 455 en 1789 !

Du reste ce système, qui remonte au temps de l'ancienne Rome, ne se prêterait guère à l'arrivée de l'eau dans un grand nombre d'habitations, puisqu'il comporte autant de tuyaux distincts que de prises, et donnerait lieu bien vite à un enchevêtrement inextricable.

356. Système moderne des abonnements. — Dans les distributions modernes, l'eau est mise à la portée des habitants par des conduites publiques qui parcourent toutes les rues et passent devant la façade des maisons. Pour qu'elle pénètre dans un immeuble riverain, il suffit d'établir entre le mur de face et la conduite publique un *branchement* de faible longueur et d'un prix peu élevé. Dès lors, aux concessions perpétuelles ou à long terme, on a pu substituer les *abonnements* annuels qui sont contractés ou résiliés avec une égale facilité. Ce régime nouveau,

en offrant au public des avantages jusqu'alors inconnus, a grandement contribué à la transformation qui s'est opérée dans le mode d'emploi de l'eau, et à l'accroissement extraordinaire qui en est résulté pour la consommation.

L'eau est livrée aux abonnés suivant plusieurs modes différents. Lorsque la conduite publique n'est pas toujours en pression, comme cela arrive avec le système de distribution intermittent, la livraison de l'eau est nécessairement elle-même *intermittente;* avec le service constant, elle peut être intermittente ou *continue*. Tantôt les abonnés usent de l'eau à leur gré, ouvrant quand et comme ils le veulent les orifices qui la leur fournissent : l'alimentation est *illimitée*, soit qu'ils aient le droit de consommer pour un prix fixé d'avance à forfait le volume quelconque dont ils peuvent avoir besoin, — c'est le cas des abonnements *à robinet libre*, — soit qu'un appareil spécial, le *compteur*, interposé sur la canalisation, mesure ce volume au passage. Tantôt, au contraire, l'alimentation est rigoureusement *limitée* chaque jour à un volume déterminé, qui est fourni ou tout à la fois à un certain moment de la journée, ou peu à peu et par un écoulement non interrompu; — c'est le cas des abonnements *jaugés*.

357. Livraison continue. — Le consommateur doit évidemment désirer qu'à l'instant quelconque, où il en aura besoin, l'eau se trouve à sa disposition et en quantité suffisante; la livraison continue lui donne donc pleine satisfaction, si d'ailleurs les puisages s'effectuent assez vite, ou, en d'autres termes, si le débit du branchement est en rapport avec les exigences de l'alimentation. Mais, lorsque cette condition est remplie, le volume fourni par un seul branchement coulant à gueule bée durant vingt-quatre heures est considérable; et la majeure partie de ce volume se trouve livrée en pure perte, puisque c'est seulement l'eau recueillie de temps à autre lors des puisages qui représente la fraction utilisée. Il faut en conclure que, sauf dans certains cas exceptionnels, la livraison de l'eau ne doit pas être continue et illimitée, car elle serait trop onéreuse pour l'exploitant.

Or elle ne peut être limitée, tout en restant continue, que si le débit du branchement est réduit. Mais quand, pour supprimer tout écoulement inutile, on poussera la diminution du débit au point de ramener la dépense totale dans les vingt-quatre heures au volume réellement nécessaire, le filet d'eau fourni par la *jauge* est si mince, que l'avantage de l'écoulement continu disparaît entièrement. L'abonné trouve bien encore l'eau constamment jaillissante; seulement, il lui faut attendre beaucoup trop longtemps pour en puiser une quantité utilisable. Sans doute on tourne la difficulté en faisant aboutir le branchement alimentaire à un petit *réservoir* particulier, qui, recevant l'eau non immédiatement utilisée, constitue un approvisionnement auquel on aura recours quand les besoins se présenteront, pour y puiser alors tel volume qu'on peut

vouloir en un temps aussi court qu'on le désire. Mais c'est revenir là par un détour à la situation qu'on eût réalisé dès l'abord en munissant le branchement d'un robinet, au moyen duquel le consommateur serait à même d'en interrompre ou d'en rétablir l'écoulement à volonté, avec la sujétion du réservoir en plus et les inconvénients qui en résultent, dont le plus grave est le manque d'eau possible en cas de fuite ou de consommation exceptionnelle. La substitution de plusieurs réservoirs distincts au réservoir unique, recommandée par l'ingénieur anglais Hellyer, n'est à cet égard qu'un palliatif.

358. Livraison intermittente. — La livraison intermittente constitue à elle seule une limitation du volume d'eau fourni à l'abonné. En effet, le branchement n'étant alimenté chaque jour que pendant un temps relativement court, une heure par exemple, la quantité d'eau qu'il peut débiter est naturellement restreinte.

L'exploitant y peut trouver son avantage, bien que les manœuvres à faire pour envoyer l'eau successivement dans les diverses conduites supposent l'emploi d'un personnel nombreux et exercé. Mais le consommateur ne saurait faire usage de l'eau précisément à l'instant où elle lui est livrée, et se trouve encore, par suite, dans l'obligation de recourir à l'établissement d'un réservoir; il éprouve donc les mêmes inconvénients qu'avec l'alimentation à la jauge.

Ajoutons que dans l'un et l'autre cas des pertes d'eau se produisent, si, comme cela doit être, le volume d'eau fourni dépasse celui du vide qui s'est fait dans le réservoir; le surplus inutilisé s'écoule par le trop plein, à moins que, pour l'éviter, on n'installe sur l'orifice d'arrivée une soupape à flotteur, se fermant automatiquement contre la pression quand le réservoir est plein, ce qui augmente la dépense et n'est pas toujours bien sûr.

359. Alimentation illimitée. — Pour être parfaitement desservi sans limitation gênante d'aucune sorte, l'abonné n'a pas besoin que l'écoulement soit continu. Il jouit des mêmes avantages quand, le branchement étant toujours en charge, il peut à son gré y produire ou y supprimer l'écoulement. De la sorte l'alimentation est pour lui pratiquement illimitée.

Quant à l'exploitant, s'il est avec ce système très exposé aux abus, il peut se mettre en garde contre le gaspillage, soit par une réglementation sévère et une surveillance assidue, soit en substituant au robinet libre le compteur d'eau, qui, mesurant le débit sans le limiter, lui permet de proportionner exactement la redevance à la consommation réelle.

Il n'est donc pas étonnant que la livraison de l'eau *au compteur* ait fait de rapides progrès, et gagne de plus en plus la faveur du public.

On ne doit pas se dissimuler cependant, que d'une part la complication de l'appareil en rend l'achat et l'entretien assez onéreux pour l'abonné, et que, d'autre part, l'alimentation illimitée a pour conséquence

d'obliger l'exploitant à employer des tuyaux de plus grand diamètre dans la canalisation, car la consommation, au lieu d'être également répartie dans les vingt-quatre heures, se fait presque tout entière en un temps beaucoup plus court.

En Angleterre, bien que la distribution intermittente cède de plus en plus devant les progrès du service constant, la livraison intermittente qui n'est pas incompatible avec ce dernier, reste encore la plus répandue. En France, où la distribution continue est la règle, c'est la jauge et le robinet libre qui étaient les modes de livraison habituels jusque dans ces derniers temps, mais le compteur tend à les remplacer l'un et l'autre.

§ 4.

ABONNEMENTS JAUGÉS

360. Avantages et inconvénients des abonnements jaugés. — Si l'on examine de près les conditions dans lesquelles se présente l'abonnement jaugé, on reconnaît qu'il n'est pas sans offrir au consommateur certains avantages. Celui-ci sait notamment d'avance quel est le montant de la dépense que lui occasionnera la fourniture d'eau, puisque ce montant ne saurait être dépassé. D'un autre côté, sa canalisation ne supporte que la pression résultant de son propre réservoir; c'est dire qu'elle est toujours modérée, d'où résulte une certaine économie de premier établissement, en même temps qu'une diminution des chances d'accidents. Enfin il n'a pas à se préoccuper des fuites, tant qu'elles ne deviennent pas pour lui une cause de gêne, puisqu'elles ne doivent point mettre à sa charge de dépense supplémentaire.

Pour l'exploitant, les avantages sont manifestes et très considérables. Avec ce système, en effet, il sait exactement la quantité d'eau qu'il lui faut distribuer chaque jour, mieux encore, chaque heure ou chaque minute; car le débit est parfaitement régulier, et n'éprouve ni variations annuelles ni variations diurnes. De là une économie d'installation très appréciable et de très grandes facilités d'exploitation.

Sans doute il est obligé, par compensation, de faire la mesure un peu large aux abonnés, afin qu'ils reçoivent toujours la quantité d'eau promise malgré les incidents qui peuvent se produire, baisses de pression, obstructions partielles, etc., ainsi la jauge est ordinairement réglée de manière à fournir un débit supérieur de 25 à 30 pour 100 au débit normal. Et il lui faut exercer une surveillance active pour réprimer la fraude qui se pratique aisément, avec ou sans la connivence du fontainier, par

simple agrandissement de la jauge, ou au moyen de tuyaux piqués sur la conduite entre la jauge et le réservoir.

Mais les inconvénients sont pour l'abonné plus graves et plus nombreux : impossibilité absolue de dépasser en aucun cas la consommation fixée, même pour un besoin extraordinaire ou pour l'extinction d'un incendie ; obstructions fréquentes de la jauge ; nécessité d'un réservoir encombrant, où les matières en suspension se déposent, où l'eau s'échauffe, se gâte même si l'on n'y fait des nettoyages fréquents ; manque d'eau complet quand le réservoir vient à se trouver vide ; etc.

361. Appareils de jauge. — Les anciennes concessions étaient jaugées au moyen d'une *cuvette de distribution* placée dans le château d'eau. Du bassin supérieur où elle arrivait, l'eau se déversait dans une série de *bassinets*, tous disposés au même niveau, et dans la paroi desquels étaient percés les trous de jauge servant de point de départ aux plombs des concessionnaires. Ce système donne un débit très régulier, et a l'avan-

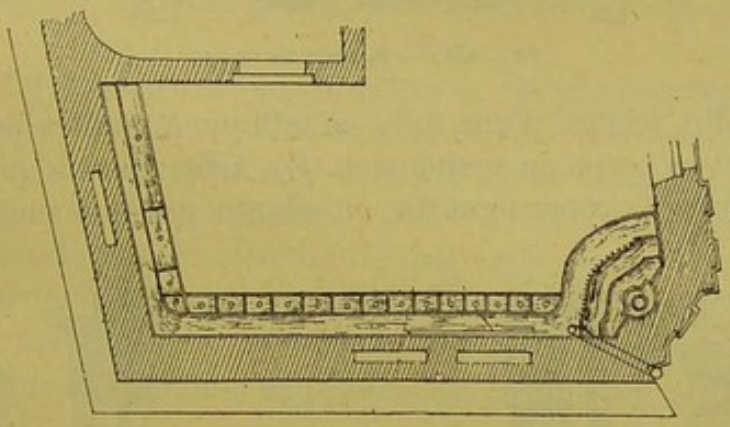


Fig. 453. — Bassinets de la fontaine de l'Arbre-Sec.

tage de réunir en un même point, dans une enceinte fermée et constamment surveillée, toutes les jauges du quartier desservi par le château d'eau, ce qui écarte toute possibilité de fraude. Mais il n'est pas applicable aux distributions d'eau modernes.

Aujourd'hui la jauge est obtenue par l'emploi d'un appareil placé sur le branchement de prise. C'est tout simplement un robinet pourvu d'un diaphragme, dans lequel on a percé un trou de section déterminée. Tantôt le diaphragme est venu de fonte avec le robinet, tantôt il est formé par une *lentille* rapportée. Dans l'un et l'autre cas la matière employée doit être très dure, sans quoi l'usure rapide produite par le frottement continu de l'eau détermine bientôt l'agrandissement du trou ; le bronze, s'il n'est pas de très bonne qualité, se trouve rapidement détruit, et l'on a cherché à le remplacer par l'acier, le verre, l'agate qui paraissent donner de bons résultats ; il convient de donner au diaphragme une certaine épaisseur et d'y pratiquer une petite ouverture plutôt cylindrique que conique (*fig.* 455). Avec une aiguille d'acier on parvient à

percer des trous assez fins pour ne laisser passer sous une forte pression que 250 et même 125 litres d'eau par 24 heures. Ces trous imperceptibles seraient presque immédiatement obstrués s'ils n'étaient protégés par

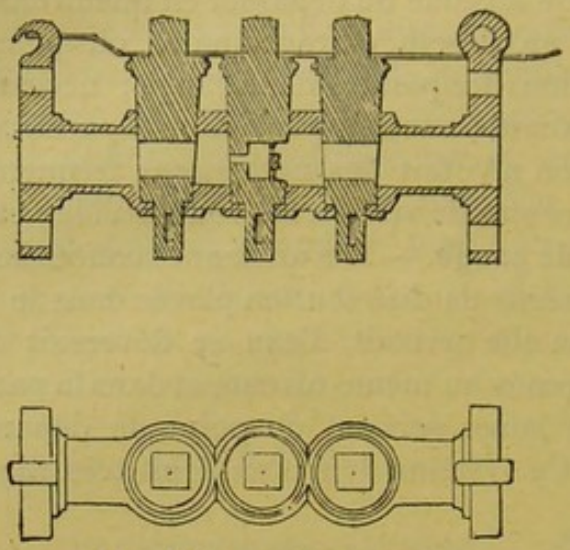


Fig. 454. — Robinet de jauge.

une petite grille, formée d'une toile métallique à mailles serrées, et qui retient les menus corps en suspension (*fig.* 456). Sur la pièce qui porte le robinet de jauge proprement dit, on adapte presque toujours un robi-

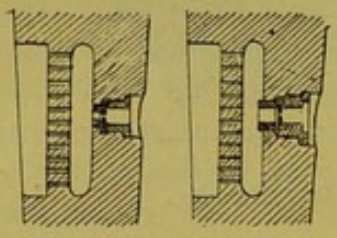


Fig. 455.

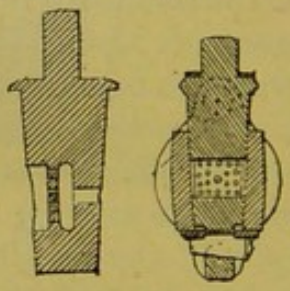


Fig. 456.

net d'arrêt ordinaire, quelquefois deux, ce qui permet d'isoler la jauge pour les visites ou les réparations : le tout est placé sous une bouche à clé à deux ou trois trous.

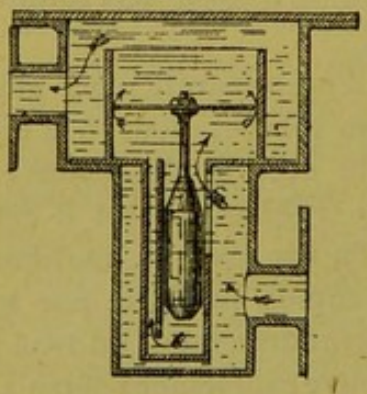


Fig. 457.

D'autres systèmes de jaugeage et d'autres appareils ont été proposés, sans qu'aucun soit jusqu'ici entré dans la pratique. Il convient cependant de mentionner en passant la *jauge piézométrique* Chameroy, dont le principe est ingénieux et qui a sur l'appareil de jauge ordinaire l'avantage de donner un débit constant même en cas de variation de la pression dans la conduite publique. Elle se compose essentiellement d'une pièce mobile, dont la levée a pour effet de dégager plus ou moins l'orifice d'écoulement, et se trouve réglée, à chaque instant, par l'équilibre qui s'éta-

blit entre le poids de cette pièce et la pression qu'elle supporte. On trouve une autre application du même principe dans le compteur de pertes de M. Deacon, que nous avons cité précédemment.

362. Réservoirs particuliers. — Le réservoir, accessoire obligé de tout abonnement à la jauge, est ordinairement construit en métal, et reçoit la forme cylindrique, qui est la plus avantageuse pour la résistance. On y emploie le zinc ou la tôle : le zinc, souvent impur, a l'inconvénient d'être assez vite attaqué par l'eau, et peut lui communiquer des propriétés toxiques, s'il contient du plomb : la tôle serait bientôt rongée par la rouille, si l'on n'avait soin de la recouvrir d'une couche de goudron, de la peindre au minium ou de la galvaniser : de ces trois procédés le dernier n'est pas le plus recommandable, car la couche de zinc se détache au bout de quelque temps, au moins partiellement, et ne saurait être renouvelée avec la même facilité qu'une peinture ou un goudronnage. M. Hellyer préconise l'emploi de l'ardoise, qui donne de bons résultats, mais comporte une dépense plus élevée et oblige à renoncer à la forme cylindrique.

La capacité des réservoirs particuliers se calcule d'après l'importance du service qu'ils ont à faire. Elle doit au moins correspondre à la moitié de la consommation quotidienne, afin que l'eau fournie la nuit et non employée puisse s'y emmagasiner ; mais il est préférable de la tenir notablement au-dessus de cette limite inférieure, sans cependant l'exagérer, de peur qu'une longue stagnation n'enlève à l'eau une partie de ses qualités. On est dans de bonnes conditions quand les réservoirs peuvent recevoir le volume d'eau fourni en un ou deux jours par l'alimentation jaugée.

Ils doivent être naturellement placés aussi haut que possible, soit dans les combles, s'ils sont disposés à l'intérieur des maisons desservies, soit au dehors sur un pylone en bois ou en maçonnerie. L'accès en sera facile afin qu'on puisse toujours les visiter, les nettoyer, les repeindre. Ils seront pourvus d'un trop-plein pour l'écoulement de l'eau surabondante, d'un orifice inférieur pour la vidange complète ; et des précautions seront prises pour éviter les effets de la gelée, ainsi que l'échauffement trop rapide de l'eau.

Quand on veut y éviter les pertes d'eau par le trop-plein, une *soupape*

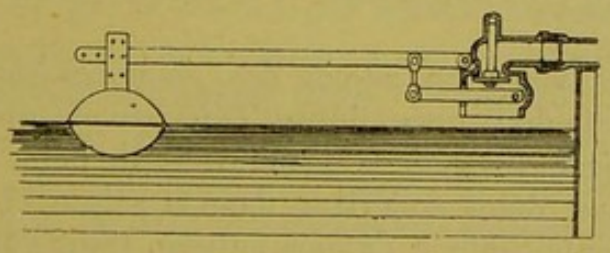


FIG. 458.

à flotteur, placée sur l'orifice d'alimentation, est chargée d'interrompre

l'écoulement, dès que l'eau atteint dans le réservoir un niveau déterminé. Cet appareil règle automatiquement l'arrivée d'eau, mais il est assez délicat, et, s'il n'est pas très bien construit et soigneusement entretenu, il ne tarde pas à laisser passer l'eau d'abord par gouttes, puis en mince filet, au point de ne plus rendre aucun service.

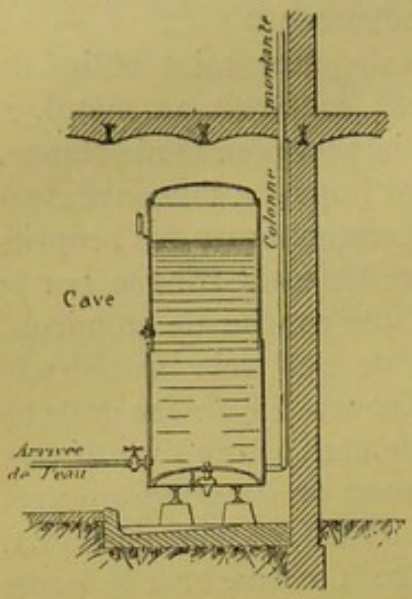


FIG. 459.

Les *réservoirs élévateurs*, ou réservoirs en pression, de la maison Carré n'ont pas les inconvénients des réservoirs ordinaires. Ce sont des vases métalliques clos, où l'eau est maintenue en pression par l'effet de l'air comprimé. Il n'y a dès lors ni perte de pression, ni perte d'eau, et, comme l'appareil peut être placé dans les caves, ni échauffement ni congélation à redouter. Le nettoyage est facile et efficace, puisqu'il se fait sous pression par la simple ouverture d'un robinet inférieur ; et un clapet empêche le retour de l'eau dans la conduite d'alimentation en cas de baisse anormale de la pression. Ce nouveau type de réservoirs particuliers, fort intéressant à divers égards, n'est pas assez connu ; il est appelé sûrement à se répandre.

363. Suppléments. Jauges variables. — La jauge fournissant un débit invariable, il a fallu chercher les moyens de parer à des besoins exceptionnels dans certains cas, en apportant des modifications appropriées à ce mode de livraison de l'eau. C'est ainsi que s'est introduit l'usage des *suppléments*, dans la plupart des villes où l'eau est fournie à la jauge. Sur la demande de l'abonné, le robinet d'alimentation est ouvert en plein pendantun temps déterminé, le plus souvent pendant quelques heures seulement, pour le remplissage d'un réservoir ; la quantité d'eau supplémentaire est estimée d'après la capacité du récipient où elle est déversée, ou au moyen d'une expérience donnant le débit horaire du robinet ; l'eau est payée au mètre cube. Ce système rend des services incontestables ; mais il est à coup sûr peu commode et relativement dispendieux, puisqu'il exige l'intervention du fontainier ; d'autre part le contrôle est à peu près impossible et la fraude fort à redouter en conséquence.

Dans certaines villes on admet des abonnements supplémentaires pendant une partie de l'année, durant l'été par exemple, ou même des abonnements *à jauges variables*, comportant un débit déterminé dans la saison froide et un débit supérieur dans la saison chaude, moyennant un prix unique applicable à l'année entière. Dans l'un et l'autre cas il faut au changement de saison modifier la jauge ; c'est là une cause de complication dans le service et une nouvelle source d'abus.

§ 5.

ABONNEMENTS A ROBINET LIBRE

364. Abonnements à l'estimation. — Les abonnements *à robinet libre* ou *à discrétion*, avec redevance établie d'après une *estimation* préalable de la consommation supposée, ont été fort en faveur il y a quelques années : c'est, nous l'avons vu, le système que préconisait Dupuit.

Un robinet toujours ouvert, et de dimension suffisante pour alimenter à la fois plusieurs orifices de diamètre courant, met en communication constante la conduite publique et la canalisation intérieure de l'immeuble abonné ; l'eau est donc toujours en pression dans les tuyaux, en charge sur les orifices, et le consommateur n'a qu'à manœuvrer l'obturateur d'un quelconque de ces orifices, pour avoir, quand il le veut, telle quantité d'eau qu'il peut désirer. Pas de réservoir encombrant, et par suite point de réduction de la pression. Paiement de l'eau à forfait, et dès lors pas de surprises à redouter au moment des règlements de compte.

A côté de ces avantages incontestables pour le consommateur, il faut placer les inconvénients non moins certains, que présente pour l'exploitant le mode d'abonnement à robinet libre. L'établissement de la redevance prête à la discussion et suppose un contrôle assez difficile à exercer dans les grandes villes. L'alea du forfait porte entièrement sur la fourniture d'eau ; et, comme l'abonné n'a aucun intérêt à restreindre la consommation, l'accroissement rapide des quantités d'eau absorbées par le service est inévitable. Les pertes par les fuites intérieures, indifférentes pour l'abonné, sont à elles seules une charge redoutable pour l'exploitant.

Ce type d'abonnement serait l'idéal si l'on obtenait, comme le voulait Dupuit, que chacun ne consommât que le nécessaire et se soumît à une redevance parfaitement en rapport avec le service rendu. Mais ces deux conditions ne sont jamais remplies ; et, partout où l'application en a été faite, l'augmentation progressive des quantités d'eau consommées est venue créer de graves embarras. L'alimentation s'est trouvée tout à coup insuffisante, sans que le revenu pût fournir les ressources nécessaires pour l'exécution des travaux à faire en vue de l'améliorer.

365. Usage abusif du robinet libre. — C'est qu'aucun mode de fourniture de l'eau ne se prête plus aux abus que l'abonnement à robinet libre. « Tandis que l'abonnné à la jauge, dit Couche, est enfermé dans « des limites qu'on lui rend matériellement impossibles de franchir, l'a- « bonné à robinet libre n'est que prisonnier sur parole. » Il l'oublie trop souvent ; et, sûr de ne pas avoir de supplément à payer, il ne surveille

pas sa canalisation, néglige les fuites même apparentes, laisse ses robinets ouverts, gaspille l'eau en un mot, au grand détriment du service. Sans doute il commet ainsi des infractions au règlement, mais ce n'est pas sans peine qu'on peut lui en faire comprendre et surtout observer les prescriptions.

Paris a fourni en 1881 un exemple frappant des conséquences de l'abonnement à robinet libre. Tout à coup, par suite de l'élévation brusque de la température pendant les jours caniculaires, les réservoirs publics se sont vidés : nombre de consommateurs tenaient leurs robinets constamment ouverts, sous prétexte de rafraîchir leur boisson ou même l'air de leurs appartements. Du travail fait alors par Couche, l'éminent ingénieur en chef des Eaux de Paris, sur la situation du service pendant cette période critique, il résultait que la consommation avait atteint et même dépassé le triple de la dépense normale : il montrait d'ailleurs que, si tous les robinets répartis dans les maisons coulaient constamment à gueule bée, le débit total serait cinq fois plus grand que celui de la Seine en basses eaux !

La suppression presque complète du robinet libre et la généralisation des abonnements au compteur ne permettent plus le retour de pareils faits à Paris. Mais, à défaut de ces mesures radicales, si l'on veut, tout en conservant l'abonnement à discrétion, réprimer le gaspillage auquel il donne lieu, c'est à un contrôle efficace et permanent qu'il faut recourir, ainsi qu'à des moyens spéciaux de recherche et de coercition.

366. Moyens employés pour diminuer les abus. — Lorsque, malgré les prescriptions réglementaires, les abonnés en sont venus à un usage abusif de l'eau, et que la seule perspective d'une amende ou d'une pénalité quelconque est impuissante à combattre une habitude prise, on peut employer utilement, pour restreindre la consommation sans causer de gêne appréciable, certains appareils, qui se prêtent à l'usage normal de l'eau, mais, sont disposés de manière à limiter les dépenses inutiles.

En première ligne il convient de mentionner l'emploi de robinets de calibre réduit. La plupart des robinets ordinaires sont plus gros qu'il n'est strictement nécessaire, et souvent il est possible d'en diminuer le débit de moitié ou des deux tiers sans qu'ils cessent de remplir suffisamment vite les vases de capacité ordinaire. C'est ce qui a été fait à Paris sur une échelle assez étendue et du consentement même des abonnés, par l'addition de *lentilles* à un grand nombre de robinets en service. De la sorte, en admettant qu'on laisse les robinets ouverts, les pertes d'eau sont déjà moindres.

Viennent ensuite les *robinets à repoussoir*, qui ne laissent passer l'eau que lorsqu'on les maintient ouverts à la main. Une pareille obligation, sans être trop gênante pour les usages courants, est de nature à limiter singulièrement les abus ; et l'emploi de ces appareils fournirait une excellente solution, s'ils étaient sûrement efficaces. Mais, quelque ingé-

nieuses que soient les dispositions imaginées pour déterminer la fermeture du robinet dès que la main l'abandonne, l'ingéniosité de certains consommateurs en a presque toujours raison ; et il est peu de robinets à ressort, même parmi les plus perfectionnés, qu'on ne parvienne à *caler*, c'est-à-dire à maintenir ouverts aussi longtemps qu'on le veut, en paralysant l'action du ressort au moyen d'un bout de bois, d'une ficelle, etc. Néanmoins, ce type d'appareils rend d'incontestables services.

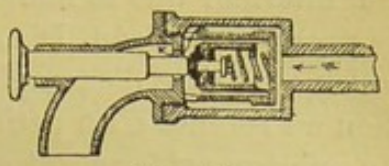


Fig. 460.

Récemment, on a proposé à Paris des robinets qui produisent le même effet d'une manière plus sûre. Ce sont les *robinets intermittents*. Lorsqu'on a fait la manœuvre d'ouverture, ils laissent passer une quantité d'eau déterminée par un réglage préalable, sans qu'il y ait besoin de les maintenir avec la main ; puis, ce volume d'eau écoulé, ils se referment spontanément par l'effet d'un mécanisme intérieur sur lequel l'usager n'a point d'action et dont il ne peut empêcher le fonctionnement ; il faut renouveler la manœuvre pour obtenir une nouvelle quantité d'eau. Le plus souvent, c'est la pression même de l'eau qui détermine la fermeture du

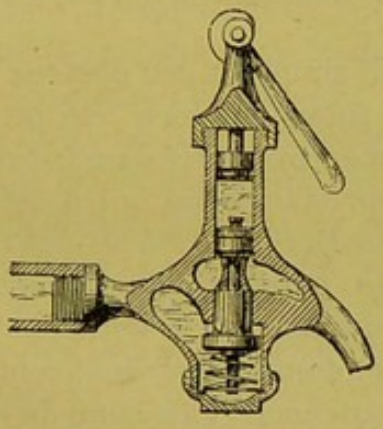


Fig. 461.

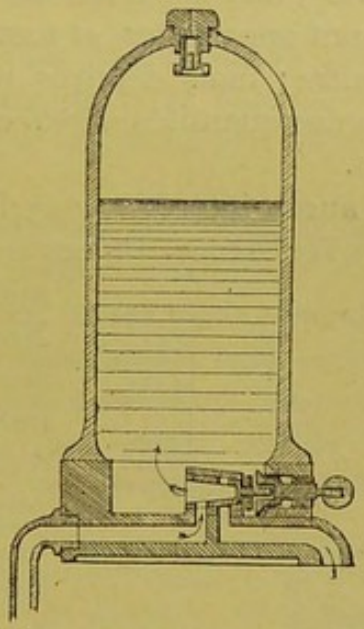


Fig. 462.

robinet : dans le *robinet Chameroy*, autorisé à Paris et représenté par la figure 461, le temps de l'ouverture est limité par une sorte de *cataracte*, c'est-à-dire par un très petit écoulement à travers un orifice capillaire qui finit par ramener l'obturateur dans sa position primitive. Le principe de ces appareils est excellent ; et quelques-uns méritent de se répandre, bien que le réglage en soit toujours un peu délicat et ne se maintienne généralement pas très longtemps sans modification.

On emploie depuis longtemps, en Angleterre principalement, sous le

nom de *Waste preventers* [1], des appareils analogues avec un petit piston intérieur que la manœuvre d'ouverture déplace et qui est ramené par la pression de l'eau. D'autres dispositions sont aussi en usage chez nos voisins : à titre d'exemple, nous citerons celle qui consiste dans l'adaptation au robinet d'un petit réservoir d'air, où l'eau pénètre quand l'orifice de puisage est fermé, et qui est séparé de la conduite d'alimentation pendant l'écoulement ; la petite réserve épuisée, il faut refermer le robinet pour faire une provision d'eau nouvelle.

367. Moyens employés pour la recherche et la suppression des fuites intérieures. — Les mêmes systèmes, qui sont appliqués en Angleterre et aux États-Unis pour découvrir les fuites de la canalisation publique, se prêtent également bien et simultanément à la surveillance des installations particulières. Les inspections de nuit à l'aide du stéthoscope, le compteur de pertes Deacon, le Church's detector permettent de signaler les maisons dans lesquelles il doit y avoir des fuites ; une visite y est faite alors, le point défectueux est reconnu et la réparation prescrite sans retard.

Les fuites se produisent fréquemment aux robinets, aux robinets-soupapes à flotteurs qui restent rarement étanches après un certain temps de service, aux appareils des water-closets, aux joints à brides, etc. Les unes sont apparentes et tout abonné soigneux les constate et les fait disparaître ; mais d'autres restent cachées et peuvent laisser écouler parfois des quantités d'eau considérables, sans que rien n'appelle l'attention.

Il y aurait intérêt à posséder un appareil simple et peu coûteux qui en révélat l'existence. Divers *indicateurs de fuites* ont bien été proposés, mais aucun n'est encore entré dans la pratique. Nous citerons cependant celui qui a été décrit par M. Œsten de Berlin : c'est un petit piston interposé sur le parcours du branchement d'alimentation, qui suivant le débit se déplace plus ou moins, et dont la tige vient comprimer une balle de caoutchouc ; l'air contenu dans la balle est en communication avec une cuvette fermée contenant un liquide coloré et refoule ce liquide dans une éprouvette en verre placée dans un endroit en évidence ; quand tous les orifices de la canalisation intérieure sont fermés et qu'elle ne fait aucun service utile, le liquide coloré ne doit pas apparaître dans l'éprouvette ; si donc on l'y voit en permanence, c'est qu'il y a quelque part un écoulement continu, une fuite.

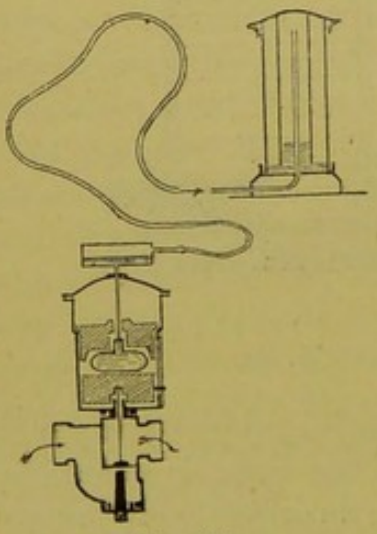


FIG. 463.

1. Appareils destinés à prévenir les pertes d'eau.

Des indicateurs de ce genre seraient extrêmement utiles, même dans les villes où les abonnements sont tous au compteur. On peut en dire autant des robinets à repoussoir ou intermittents. Car, si l'exploitant n'a plus alors à se préoccuper des pertes dans les canalisations intérieures qui sont enregistrées par le compteur et donnent lieu à un supplément de prix, l'abonné de son côté est grandement intéressé à les connaître dès qu'elles se produisent, tandis que dans bien des cas elles lui échappent ou du moins ne lui sont révélées que trop tard par la quittance qu'il ne peut se refuser à payer.

§ 6.

ABONNEMENTS AU COMPTEUR

368. Introduction des compteurs. — L'application du compteur d'eau, qui mesure la quantité livrée, mais sans faire obstacle à l'écoulement et sans imposer aucune limitation, n'en est pas moins le meilleur de tous les moyens employés pour supprimer ou réduire les inconvénients de l'alimentation constante et illimitée.

Le compteur concilie avec la liberté absolue du puisage la possibilité d'un contrôle constant et sûr. Le consommateur ne paie que ce qu'il consomme, l'exploitant ne fournit point d'eau qui ne lui soit payée. C'est presque la réalisation de l'idéal de Dupuit.

Les avantages de l'emploi d'un bon compteur ont depuis longtemps frappé tous ceux qui s'occupent de distribution d'eau ; et c'est ce qui explique les efforts multipliés, qu'on a fait de toutes parts pour créer un type répondant à toutes les exigences, à la fois simple, exact, robuste et peu coûteux. Le problème se présentait sans doute dans des conditions difficiles, puisqu'il a pendant près d'un demi-siècle exercé l'imagination des inventeurs, et qu'on ne saurait dénombrer les études faites et les dispositions proposées en vue de le résoudre.

Tout compteur d'eau est un petit moteur hydraulique, mis en mouvement par l'eau même dont il doit enregistrer le passage, et commandant une série de roues dentées qui actionnent l'appareil indicateur du nombre de tours ou de coups de piston. Il faut que la dépense de force employée à l'entraînement de ce petit moteur soit aussi réduite que possible, afin de ne pas créer de perte de charge sensible dans la distribution ; que son inertie soit presque nulle, de manière à obéir au moindre mouvement de l'eau et à s'arrêter dès que l'écoulement cesse ; qu'il exige peu ou point d'entretien, enfin et surtout qu'il puisse être construit à très bas prix. Or quelques-unes de ces conditions obligées sont contradictoires : un mécanisme ne peut-être très mobile, très précis et durable que si

l'exécution en est extrêmement soignée, comment dès lors le produire à bon marché?

Il n'y a pas longtemps qu'on est parvenu dans cette voie à des résultats satisfaisants, et maintenant encore le prix des appareils fait souvent obstacle à leur adoption. Néanmoins les compteurs d'eau se sont beaucoup répandus dans ces dernières années, et on les trouve en grand nombre en France, en Angleterre, en Allemagne, aux États-Unis, etc. Facultatifs à Paris depuis le 27 février 1860, ils y étaient encore peu employés vingt ans après ; mais le règlement du 25 juillet 1880 les ayant rendus obligatoires pour tous les abonnements non jaugés (sauf les petits abonnements d'étages maintenus à robinet libre) on n'y en compte guère moins de 50.000 aujourd'hui.

369. Conditions que doivent remplir les compteurs. — Si l'on examine de près le rôle que doit jouer le compteur d'eau, on ne tarde pas à reconnaître qu'il lui faut surtout :

Résister à une pression considérable, 30 à 40 mètres d'eau dans les cas les plus ordinaires, souvent plus, et subir des variations très grandes de cette pression sans que l'étanchéité soit atteinte, non plus que la régularité absolue de la marche ;

Mesurer et enregistrer avec une approximation suffisante l'eau débitée, quelles que soient les variations du volume consommé, tantôt presque insignifiant, tantôt au contraire très important ;

Ne pas créer de perte de charge sensible, car le plus souvent l'eau n'a que la pression strictement nécessaire pour atteindre les points les plus élevés à desservir.

A ces conditions principales viennent s'en ajouter souvent d'autres, résultant de circonstances locales ou d'exigences particulières. Ici l'étanchéité devra être parfaite, parce que l'eau est très pure, là au contraire il faudra laisser passer de l'eau chargée de matières en suspension. Dans certaines villes, on demandera que l'écart de comptage soit toujours en faveur de l'exploitant, dans d'autres qu'il profite à l'abonné, etc.

Suivant qu'on s'attache plus ou moins à telle ou telle qualité, on donnera la préférence à des appareils différents, car, malgré les progrès réalisés, il n'en est aucun qui soit arrivé à la perfection et satisfasse également bien à toutes les conditions requises.

A Paris le règlement en vigueur exige que les compteurs restent étanches sous une pression de 15 atmosphères, fonctionnent régulièrement avec des pressions comprises entre 1 et 70 mètres, enregistrent avec une exactitude relative (tolérance 20 0/0) des débits même très faibles ($\frac{1}{1500}$ à $\frac{1}{8000}$) du maximum et donnent pour les écoulements ordinaires un comptage exact, sans écart supérieur à 8 0/0, et seulement dans le sens favorable à l'abonné. Ces conditions, très rigoureuses et très strictement appliquées, écartent un certain nombre de compteurs

qui sont ailleurs en usage. Peu à peu du reste les exigences tendent à augmenter partout, au fur et à mesure des progrès réalisés par les constructeurs, et l'on voit des compteurs, admis naguère avec faveur, céder la place à d'autres plus perfectionnés et plus précis.

Il est bon de placer à l'amont du compteur un clapet, s'opposant au retour de l'eau en cas de dépression dans la conduite publique.

370. Divers types de compteurs. — Les compteurs d'eau peuvent être classés en plusieurs catégories bien distinctes, suivant leurs dispositions et leur mode de fonctionnement.

Nous ne citerons qu'en passant les *compteurs sans pression*, qui peuvent mesurer l'eau débouchant librement dans un réservoir, mais ne sauraient être intercalés sur une colonne montante où l'eau est en pression de part et d'autre. Plus faciles à disposer, les appareils de ce type ont paru les premiers; mais ils n'ont pour ainsi dire pas reçu d'applica-

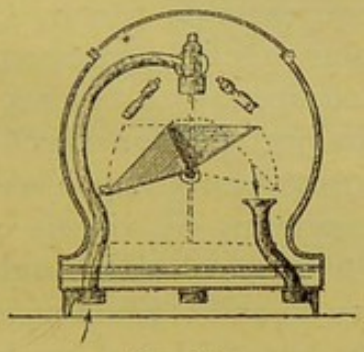


Fig. 464.

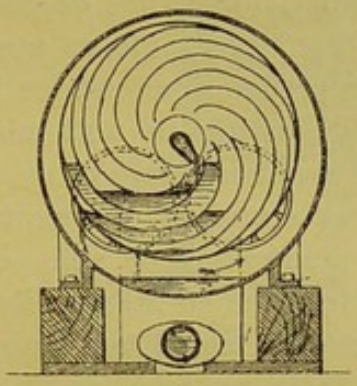


Fig. 465.

tions, car ils ne peuvent utiliser qu'une petite chute d'eau à l'air libre et ne répondent pas au problème qui se pose dans les distributions d'eau. C'est dans cette catégorie que se placent le *compteur à augets* (*fig.* 464), où l'eau remplit des augets qui se vident alternativement et qu'il suffit de compter pour déterminer le volume écoulé; le *compteur à tympan* (fig. 465),

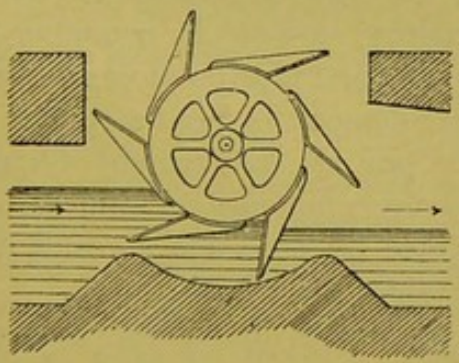


Fig. 466.

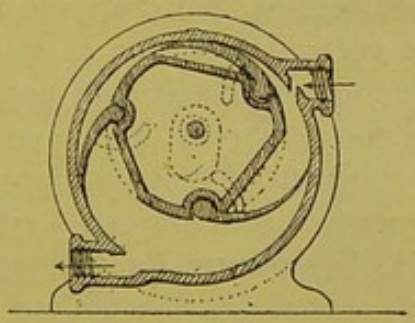


Fig. 467.

qui est rotatif tandis que le précédent est oscillant; le *compteur à palettes* soit fixes, comme on en trouve un exemple à Paris à l'origine de l'aqueduc de distribution des eaux de l'Ourcq (*fig.* 466), soit mobiles autour de charnières (*fig.* 467), etc.

Les compteurs fonctionnant *sous pression* forment deux classes, dont l'une comprend ceux qui mesurent l'eau directement et que l'on peut appeler compteurs *positifs*, *directs*, ou mieux *compteurs de volume*, et l'autre ceux où le débit est évalué indirectement, d'après la rapidité du mouvement de l'organe mobile et qu'on désigne sous le nom de *compteurs de vitesse*. Les premiers présentent une ou plusieurs capacités, de volume rigoureusement déterminé, qui s'emplissent et se vident alternativement ; les seconds comportent une sorte de turbine ou de roue, dont le passage de l'eau détermine la rotation. Ceux-ci sont en général d'un petit volume, peu compliqués, dépourvus de parties frottantes ; la construction en est plus facile et moins coûteuse, la perte de charge qu'ils occasionnent relativement faible ; mais leur précision laisse beaucoup à désirer, surtout pour les faibles débits, leur sensibilité est médiocre, leur inertie assez grande : ils n'enregistrent pas les très petits écoulements, incapables de déterminer la rotation de la pièce mobile, et ne s'arrêtent pas toujours aussitôt que l'eau cesse de passer. Ceux-là sont plus précis, donnent des indications plus exactes, ne laissent point écouler d'eau qui ne soit mesurée, mais occupent plus de place, fonctionnent rarement sans bruit, demandent un ajustage plus soigné et des garnitures étanches, donnent lieu à des frottements appréciables, et coûtent généralement plus cher. Les compteurs de vitesse ont été d'abord les plus en faveur ; ils sont encore fort répandus en Angleterre, en Allemagne, aux États-Unis, on les trouve en assez grand nombre en France. Mais, à mesure qu'on recherche plus de précision et que la fabrication des compteurs de volume progresse, ces derniers sont de plus en plus entrés dans la pratique, se substituant peu à peu aux compteurs de vitesse dans les villes qui les avaient adoptés, et presque toujours choisis de préférence dans celles où la question était encore entière.

Peut-être conviendrait-il de mentionner ici, comme formant une troisième classe de compteurs sous pression, les appareils construits sur le principe de la jauge piézométrique Chameroy, comme le compteur de pertes Deacon, dont l'organe essentiel se déplace plus ou moins sur une ligne verticale suivant la vitesse de l'écoulement et peut se prêter au tracé d'une courbe sur un papier entraîné par un mouvement d'horlogerie. Ces appareils, que nous appellerons des *compteurs piézométriques*, sont très sensibles et paraissent susceptibles de précision ; il est à présumer qu'ils sont appelés à rendre des services dans certains cas.

371. Compteurs de vitesse. — Les compteurs de vitesse ont reçu des formes et des dispositions très variées. L'organe, noyé dans l'eau en pression, et auquel l'écoulement communique un mouvement de rotation, est tantôt une roue à réaction ou une turbine, tantôt une roue à palettes ou à ailettes planes, courbes, hélicoïdales. L'arbre de rotation traverse un des fonds de la boîte, où se trouve placé l'organe mobile, et vient actionner un système d'engrenages, qui commande les aiguilles

destinées à enregistrer sur un *indicateur à cadrans* le nombre d'hectolitres ou de mètres cubes d'eau qui passent par l'appareil. Par hypothèse ce nombre est considéré comme proportionnel au nombre de tours de l'organe mobile.

Le compteur *Siemens*, de Rotherham (fig. 468), est un des types les plus connus parmi les compteurs à turbine. L'eau pénètre de haut en bas dans l'arbre creux vertical d'une petite turbine, et s'échappe par des canaux courbes à la circonférence. Le mécanisme de commande des aiguilles, la *minuterie*, est entièrement noyé dans l'huile. Ce compteur a les défauts ordinaires des compteurs de vitesse ; en outre l'usure du pivot, qui supporte la charge de l'eau arrivant de haut en bas, est assez rapide, et

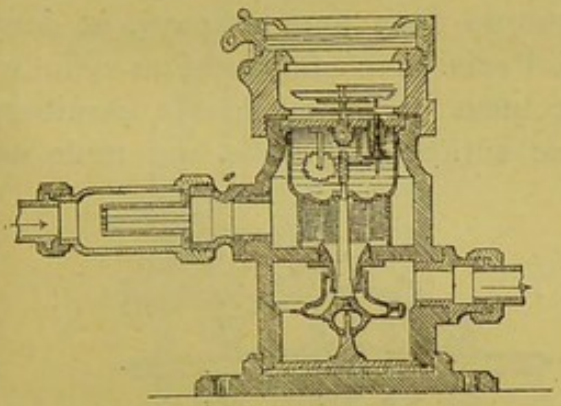


Fig. 468.

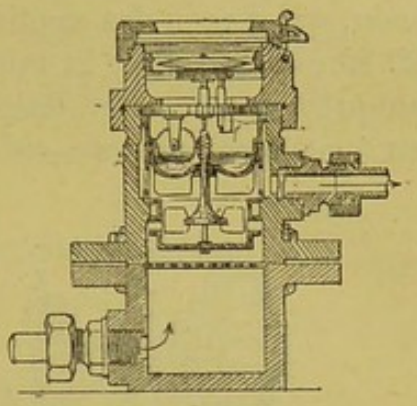


Fig. 469.

les pertes d'eau par la douille formant joint de l'arbre creux ne sont pas rares.

Le compteur *Siemens et Halske* (fig. 469) paraît être, de tous les compteurs avec roues à palettes, celui qui a recu le plus d'applications. L'eau y arrive par le bas et frappe les quatres palettes d'un disque tournant autour d'un axe vertical ; l'arbre plein, qui porte ce disque, se prolonge hors de la caisse à eau et met en mouvement la minuterie, placée dans une caisse à air, et dont la première roue seule est baignée d'huile. On conçoit que cette disposition ne détermine pas une usure aussi rapide du pivot ; d'autre part le débit peut être plus grand à dimensions égales. Mais, par compensation, l'appareil est plus exposé aux dérangements produits par les coups de bélier, aux arrêts, provoqués par les dépôts sableux ou calcaires. Les compteurs *Tylor*, *Faller*, *Leopolder*, *Rosenkranz* sont des variétés du même type : les deux premiers ont encore une roue à ailettes ; le troisième en a deux; dans le quatrième le disque à ailettes est remplacé par une étoile à six branches en ébonite.

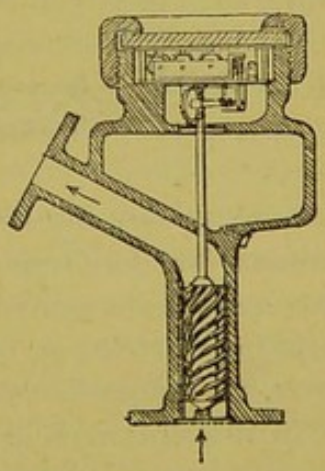


Fig. 470.

On emploie aux État-Unis un compteur de vitesse, dit *Eureka*, dont le principe est identique à celui du compteur *Bonnefond* (fig. 470) qui a été présenté en France il y a quelques années : l'eau parcourt les spires d'un ruban hélicoïdal formant autour de l'arbre comme une ailette unique et allongée. Les compteurs *Everett* et *Witt* sont du même type.

372. Compteurs de volume. — Dans les compteurs de volume l'organe mobile est le plus souvent un piston, se déplaçant sous l'action de l'eau en pression dans un cylindre, d'où le nom de *compteurs à pistons* qu'on leur donne quelquefois. Nous avons préféré une désignation plus générale, afin d'y comprendre tous les appareils basés sur le même principe et où l'organe mobile est une *membrane*, une *couronne dentée*, etc.

Un des plus anciens compteurs à piston est le compteur anglais *Kennedy*, qui a reçu des applications presque dans tous les pays, et dont M. *Kern* a introduit la fabrication à Paris. Il se compose d'un cylindre unique à double effet, dans lequel se meut un piston, dont la garniture est formée par un tore en caoutchouc entièrement libre, qui roule au

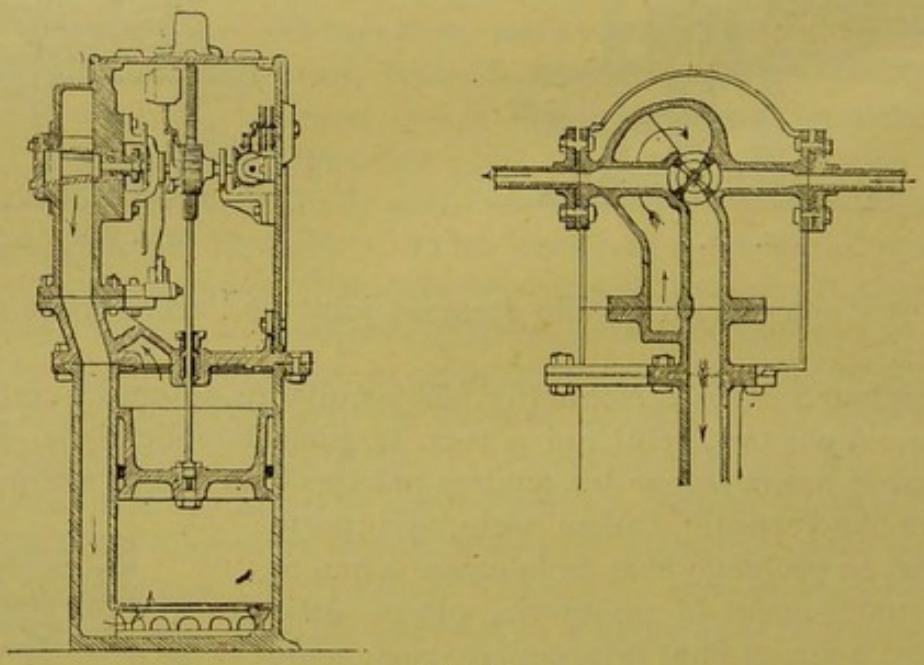


Fig. 471.

lieu de glisser sur la paroi du cylindre. La tige du piston porte une crémaillère, dont le mouvement vertical de va-et-vient détermine à chaque extrémité de la course le changement de sens de l'écoulement, en déplaçant un marteau ou contrepoids qui entraîne un robinet cône à quatre eaux. Cet appareil est assez simple, compte avec précision, comporte peu de frottement; mais le mécanisme, placé dans une caisse à air, réclame des graissages périodiques, et parfois, le marteau se calant spontanément, il se produit des arrêts pendant lesquels l'eau peut passer sans être comptée.

Le compteur anglais *Frost*, que M. *Tavenet* a introduit en France et fait fabriquer à Paris, présente aussi un seul cylindre vertical (fig. 472); mais

le piston qui s'y meut porte une garniture en cuir, et le mécanisme de la distribution, qui est obtenue au moyen de deux tiroirs actionnés par un petit piston auxiliaire, est logé dans une caisse remplie d'eau, ce qui dispense des graissages périodiques.

On a construit beaucoup d'appareils à deux pistons de comptage, fonctionnant soit alternativement soit simultanément et en sens inverse, qui diffèrent entre eux par la position des cylindres, la garniture des pistons, le mode de distribution, etc. La description seule des plus répandus nous entraînerait trop loin ; nous nous contenterons d'en citer

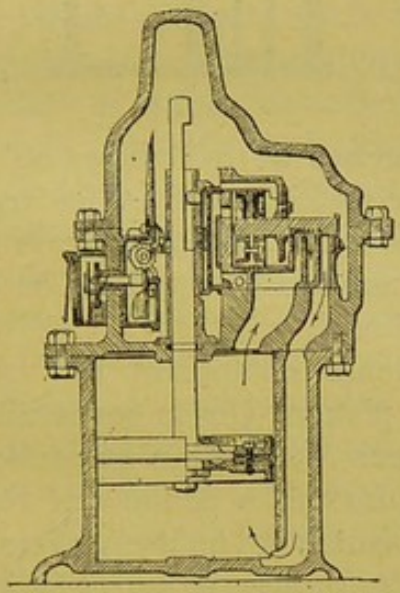


Fig. 472.

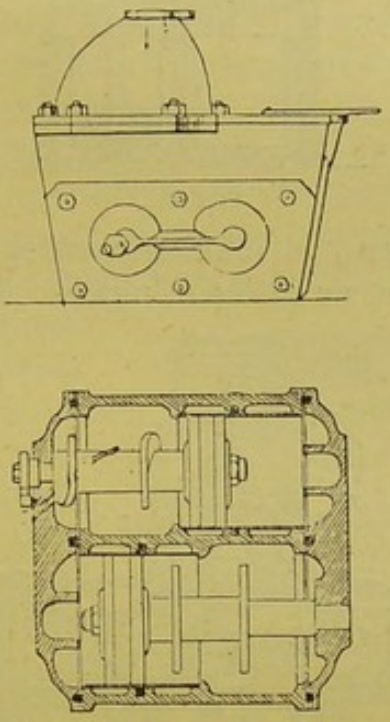


Fig. 473.

quelques-uns, entre autres les compteurs *Frager*[1] dont un modèle, celui de 1878, est très employé à Paris, et un autre, celui de 1883, tend à lui être substitué parce que la fabrication en est moins coûteuse. Dans le premier (*Fig.* 473) les cylindres sont horizontaux et parallèles, à double effet, et les changements de sens de l'écoulement sont obtenus au moyen de tiroirs à coquille, décrivant un mouvement angulaire, sous l'action d'une sorte de came qu'entraînent avec eux les deux pistons. Dans le second (*Fig.* 475), les cylindres, toujours parallèles et à double effet, sont verticaux, et les tiroirs de distribution également verticaux reçoivent par l'intermédiaire des tiges de pistons un mouvement rectiligne alternatif. Le compteur *Worthington*, fort répandu aux États-Unis, comporte aussi deux cylindres ; de même le compteur *Schmid* de Zurich, où la distribution est obtenue au moyen de petits canaux percés dans les pistons, et le compteur *Schreiber*[2] dont les tiroirs de distribution sont

1. Construit à Paris par *M. Michel.*
2. Fabriqué à Paris par *M. Barriquand.*

mis en mouvement par les deux bras d'un levier coudé (fig. 474). Dans tous ces appareils, le volume de chaque cylindrée étant la base du mesurage

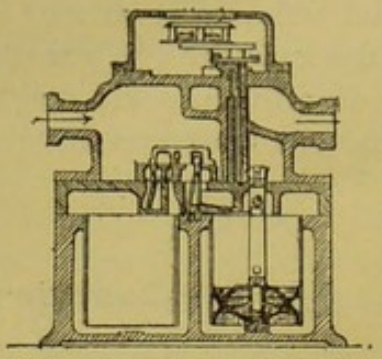


Fig. 474.

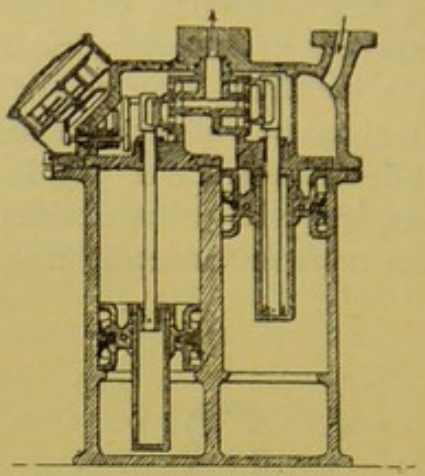
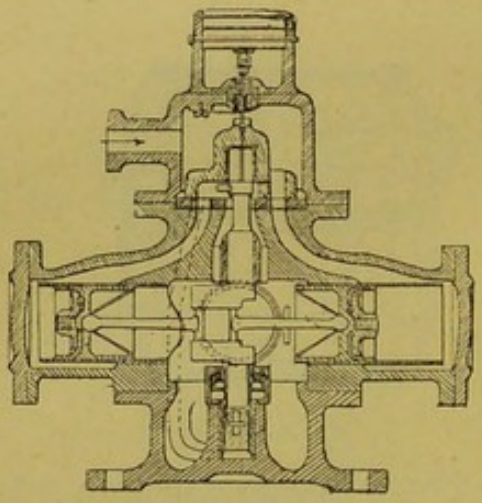


Fig. 475.

de l'eau, la minuterie enregistre le nombre de cylindrées ou ce qui revient au même le nombre de coups de piston, mais en les transformant pour la commodité de la lecture en un nombre d'hectolitres ou de mètres cubes.



Plusieurs compteurs ont trois ou quatre pistons. Un de ces derniers, inventé par *M. Samain* et perfectionné par *M. Badois*, a donné des résultats satisfaisants : les quatre pistons, pourvus de garnitures en cuir, sont à simple effet ; par l'intermédiaire de quatre petites bielles, qu'ils actionnent sans y être rattachés, ils font mouvoir un arbre vertical à vilebrequin, dont la rotation entraîne un tiroir de distribution circulaire équilibré. (Fig. 476).

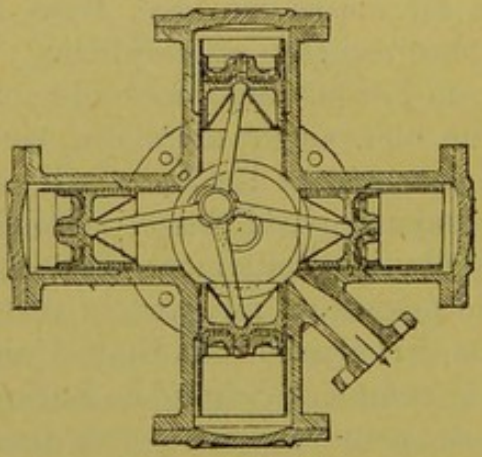


Fig. 476.

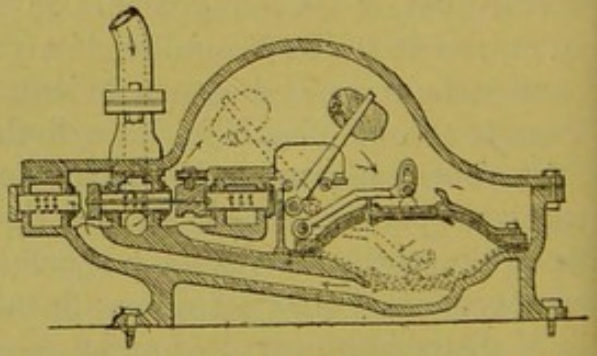


Fig. 477.

Le principe des *compteurs à membrane* diffère peu de celui des compteurs à pistons : deux capacités, qui peuvent être successivement rem-

plies d'eau, sont séparées par un diaphragme mobile, dont les mouvements ont pour effet d'augmenter ou de diminuer alternativement leur volume d'une même quantité. Le diaphragme, en caoutchouc, reçoit ordinairement la forme d'une cloche ou d'un soufflet. Nous mentionnerons, à titre d'exemple, le *compteur Maldant*, du système Oury (Fig. 477), où la membrane est en forme de cloche, et où un contrepoids détermine le changement de sens de l'écoulement, comme dans le Kennedy. Les compteurs à membrane, on devait s'y attendre, offrent un peu moins de précision que les compteurs à pistons ; car, si la course d'un piston peut être réglé avec une exactitude presque mathématique, la déformation d'un diaphragme est sujette à de petites irrégularités. D'autre part, l'usure inévitable de la membrane est un inconvénient, bien que le remplacement en soit toujours facile ; et elle résiste assez mal aux coups de bélier. Si le fonctionnement de ces appareils venait à être un peu amélioré, la possibilité de les construire à un prix modéré leur permettrait de faire une concurrence sérieuse aux compteurs à pistons.

Il convient de rattacher encore aux compteurs de volume le *Crown meter* ou compteur à couronne, qui a eu du succès aux États-Unis, et qui ne manque pas d'une certaine originalité. L'organe mobile est un disque denté, tournant à l'intérieur d'une couronne également dentée ; ces pièces, d'égale épaisseur, sont comprises entre deux plateaux, percés de petits conduits pour la distribution de l'eau, et forment deux capacités, qui se vident et s'emplissent successivement sans empêcher l'écoulement continu du liquide. Presque aussi précis que les compteurs à pistons, aussi simple que les compteurs de vitesse, cet appareil est évidemment fort séduisant, d'autant que sa fabrication, comportant peu d'ajustage, doit pouvoir être faite à bas prix. Malheureusement il ne tarde pas à donner lieu à quelques écarts de comptage et à perdre de son étanchéité, par suite du jeu que le disque prend bientôt entre les deux plateaux.

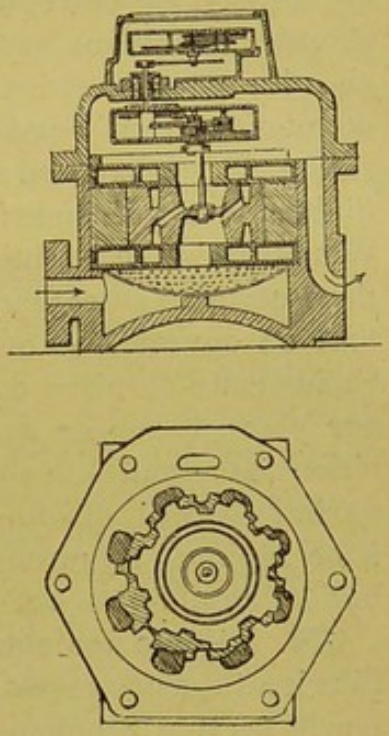


Fig. 478.

373. Vérification des compteurs. — Quels que soient d'ailleurs les types de compteurs que l'on choisisse, il faut pour tirer un bon parti de ces appareils les soumettre à des vérifications, auxquelles on ne saurait apporter trop de soin. Tout compteur, avant d'être mis en service, doit subir une épreuve méthodique, et suffisamment prolongée pour qu'on soit édifié sur ses qualités et certain de sa bonne fabrication. Il ne doit pas d'ailleurs être perdu de vue par la suite ; de temps à autre, des visites

et des essais permettent de reconnaître s'il conserve ses qualités primitives ou s'il a besoin de réparations.

Ces diverses opérations sont délicates et ne peuvent être faites que par un personnel intelligent et exercé ; elles supposent d'ailleurs une installation spéciale et un outillage que peuvent seules se procurer les villes d'une certaine importance.

A Paris, Couche a créé de toutes pièces, en 1881, un système complet d'essais et de vérifications, qui peut être à juste titre considéré comme un modèle. L'atelier spécial de vérification des compteurs se compose de deux salles distinctes : l'une est consacrée à l'essai des appareils nouveaux et à l'expérimentation prolongée de quelques spécimens de chaque type d'appareil admis, afin d'en déterminer la durée probable et d'étudier les modifications résultant de l'usure ; l'autre sert aux épreuves régulières des compteurs des divers systèmes admis qu'on se propose de mettre en service, et qui doivent recevoir au préalable le *poinçon* ou cachet de la ville, comme témoignage de la vérification à laquelle ils ont été soumis. En outre, des équipes volantes, pourvues d'un matériel approprié, procèdent sans interruption à la visite des compteurs placés chez les abonnés et les soumettent à de nouvelles épreuves sur place, de manière à en constater les défectuosités et à en provoquer la réparation s'il y a lieu. On s'assure qu'ils comptent exactement ou dans les limites de la tolérance à petit et à grand débit, à haute et à basse pression, et qu'ils se maintiennent étanches : un *cran d'arrêt*, qui permet, dans certains compteurs de petit diamètre, d'immobiliser le mécanisme, tout en ouvrant les orifices d'écoulement de l'eau, rend commode et rapide cette dernière constatation. Enfin, quand une réparation a lieu sur place, le service des eaux, préalablement averti, fait relever la position des aiguilles avant le bris du cachet, et en vérifie la remise au point après le travail, qui donne lieu à l'apposition d'un nouveau cachet. Grâce à ce régime, rigoureusement et constamment appliqué, les résultats ont été absolument satisfaisants.

374. Régime des compteurs d'eau à Paris. — Nous avons indiqué plus haut quelles conditions un compteur doit remplir pour être admis par le service municipal des eaux de Paris. Jusqu'à présent aucun compteur de vitesse n'a pu y parvenir, non plus que le Crown ; certains compteurs à membrane, dont les essais à l'atelier avaient été assez bons, semblent perdre, une fois en service, quelques-unes de leurs qualités, de sorte que les compteurs à pistons y sont actuellement seuls en usage, et parmi ceux-là les mieux construits.

L'admission n'est prononcée qu'à la suite d'une longue série d'épreuves, qui présente les phases suivantes : 1° essai de laboratoire prolongé pendant plusieurs mois, à la suite duquel la pose de 12 compteurs en ville est autorisée pour un premier essai pratique ; 2° extension de l'autorisation provisoire à 300 appareils ; 3° nouvelle extension jusqu'à 1,000 ;

4° admission. Il faut plusieurs années pour arriver au terme de ces épreuves, qui donnent ainsi des garanties sérieuses. L'expérience a montré que ce mode d'admission, qu'on pourrait trouver trop sévère, n'est que prudent ; car plusieurs compteurs dont les débuts avaient été heureux, dont quelques-uns même avaient été admis ou avaient obtenu des autorisations provisoires, ont dû être ultérieurement retirés par les constructeurs, ou frappés d'interdit temporaire ou définitif.

D'ailleurs tout fabricant de compteurs doit justifier de sa solvabilité par le dépôt d'un cautionnement, et posséder à Paris un atelier de construction et de réparation.

Les systèmes actuellement admis sont au nombre de trois seulement. Ce sont les suivants : *Kennedy*[1], *Frager* 1878, *Frost-Tavenet.*

Plusieurs autres sont au régime des autorisations provisoires : pour 1000 compteurs, le système *Frager* 1883 ; pour 300, le *Samain-Badois* et le *Schreiber ;* pour 12, un nouveau type *Samain.*

§ 7.

RÉGLEMENTATION

375. Conditions d'abonnement. — Dans chaque service d'eau, un *règlement*, dont les abonnés doivent prendre connaissance et accepter formellement les stipulations, résume toutes les conditions auxquelles doivent être soumises les fournitures d'eau : modes d'abonnement et de livraison, tarifs, règles diverses relatives à l'exécution des travaux de prise et de branchement et à la disposition des canalisations intérieures, prescriptions concernant l'usage de l'eau, les types d'appareils, le mode de paiement, le contrôle et la surveillance, etc. Nous avons traité dans les paragraphes précédents des modes de livraison de l'eau et des tarifs ; il nous reste à donner quelques indications générales au sujet des autres points sur lesquels porte ordinairement la réglementation spéciale des distributions d'eau.

L'acte, qui constate l'engagement réciproque de l'abonné et de l'exploitant, porte le nom de *police.* Il est conforme à un modèle arrêté d'avance ; et la formule vise presque toujours le règlement, de façon que la signature de la police en implique l'acceptation par l'abonné.

C'est ordinairement le propriétaire de l'immeuble alimenté qui contracte abonnement. Mais il arrive aussi que de simples locataires traitent directement pour la fourniture de l'eau : il est des règlements qui ne les admettent à le faire qu'avec l'autorisation écrite du propriétaire.

1. Le compteur *Kern* est du système Kennedy et a été admis à ce titre.

Les abonnements sont tantôt contractés pour plusieurs années consécutives, tantôt pour une année ou même moins. La faculté de *résiliation* pendant la durée d'un abonnement peut être accordée ou non aux deux parties ou à l'une d'elles ; il est alors stipulé d'habitude que le *congé* devra être signifié deux ou trois mois au moins, sinon six mois ou un an, d'avance. Le décès de l'abonné, la vente de l'immeuble ne mettent ordinairement pas fin à l'abonnement, qui continue pour les héritiers ou ayants cause. Dans certains services, le silence de l'abonné à l'expiration de l'abonnement est considérée comme un acquiescement nouveau et l'engage pour une autre période par *tacite reconduction ;* dans d'autres, au contraire, il faut une demande écrite et une nouvelle police.

L'abonné au compteur s'engage presque toujours à payer un volume d'eau *minimum,* quelle que soit la consommation réelle enregistrée par l'appareil. C'est tantôt l'exploitant qui établit le minimum d'après une estimation préalable et l'impose à l'abonné, auquel il est interdit, en outre, de consommer un volume double ou triple, par exemple, sans provoquer la revision de sa police et l'augmentation du minimum ; tantôt c'est l'abonné qui détermine à son gré le minimum et reste libre de pousser aussi loin qu'il lui plaît les excédents de consommation.

Le paiement de l'eau s'effectue chaque année en un ou plusieurs termes, rarement tous les ans ou tous les mois, plus souvent par semestres ou par trimestres, et presque toujours d'avance. Quand l'eau est livrée au compteur, le minimum seul peut être exigible d'abord, et les excédents ne sont facturés qu'après constatation. Le service se réserve d'ailleurs la faculté de fermer le robinet de prise, dont il a seul la clé, en cas de non-paiement.

376. Installation et entretien de la prise d'eau et des branchements. — La prise d'eau et le branchement étant placés sous la voie publique, les travaux en sont d'ordinaire, bien qu'à la charge de l'abonné, expressément réservés à l'exploitant, qui les exécute ou les fait exécuter par ses entrepreneurs aux prix d'un tarif fixé par le règlement même ou annexé à ce document.

Le branchement est considéré comme se terminant au mur de face ou un peu au delà dans le cas des abonnements à robinet libre, au réservoir quand il s'agit d'un abonnement jaugé, et en aval du compteur lorsqu'il est fait usage de ce dernier appareil.

Les travaux de la prise d'eau et du branchement sont, d'ailleurs, l'objet de prescriptions diverses, portant sur l'emplacement et le type des robinets d'arrêt et de jauge, les dimensions et la nature des tuyaux, l'obligation de les envelopper immédiatement ou de les reporter plus tard dans un fourreau ou une galerie ou la faculté de les établir en terre, etc.

En général, chaque immeuble abonné doit avoir une prise spéciale, et il est interdit de conduire l'eau d'un immeuble à un autre par une canalisa-

tion intérieure. Parfois, il est admis qu'un seul abonnement puisse s'appliquer à plusieurs prises distinctes desservant le même immeuble, tandis que, dans d'autres cas, on exige un abonnement séparé pour chacune des prises. Quand la distribution comporte deux eaux différentes pouvant être fournies simultanément dans le même immeuble, il faut nécessairement deux prises et deux branchements, et la sécurité du double service exige que toute communication intérieure soit rigoureusement interdite.

L'entretien de la prise et du branchement, ordinairement à la charge de l'abonné, peut être fait par l'exploitant, soit à forfait, soit sur série de prix, ou abandonné à l'abonné lui-même, qui est alors tenu d'y pourvoir à ses risques et périls. Ce dernier système, quoique fort usité, ne paraît pas être le meilleur, car, malgré la responsabilité qui peut résulter pour lui des dégâts produits par les infiltrations d'eau, l'abonné n'a pas un intérêt assez évident à rechercher et à faire disparaître les fuites pour ne pas se montrer fort insouciant.

Le paiement des travaux d'installation doit être effectué d'habitude aussitôt qu'ils sont terminés et réglés et avant la livraison de l'eau ; l'entretien à forfait se paie en même temps que la fourniture d'eau soit d'avance, soit après la période correspondante. Et ici encore, en cas de refus de paiement ou de retard, la fermeture du robinet est le moyen de coercition employé d'une manière à peu près générale.

Lorsqu'un abonnement est résilié, la coupure immédiate du branchement est presque toujours prescrite par le règlement : il ne faut pas, en effet, ouvrir une porte à la fraude en laissant subsister sur les conduites en service des prises qui, bientôt oubliées, pourraient trop facilement se prêter plus tard à des fournitures d'eau clandestines. La coupure est faite, en général, aux frais de l'abonné, mais il peut reprendre les matériaux qui lui appartiennent.

377. Règles relatives aux appareils de jauge et aux compteurs. — L'emplacement réglementaire des appareils de jauge est, dans la plupart des cas, à l'extérieur de l'immeuble alimenté et sous la voie publique : on veut les mettre par là hors de la portée des abonnés, en rendre la surveillance plus facile et en prévenir la manœuvre frauduleuse. Il importe d'ailleurs que l'entretien en soit fait avec soin et qu'on remplace en temps utile les clés de jauge dont l'ouverture s'est agrandie par l'usure : aussi est-il interdit d'ordinaire à l'abonné de s'opposer à tout travail de ce genre, qui peut être entrepris d'office au besoin et à ses frais.

Les compteurs sont tantôt achetés par les abonnés, mais à la condition de les choisir parmi les systèmes admis et de les soumettre à une vérification préalable, tantôt donnés *en location*. Dans le premier cas, l'entretien, à la charge de l'abonné, peut lui être abandonné, quoiqu'il soit préférable d'en faire l'objet d'une sorte d'abonnement obligatoire,

parce qu'il arrive parfois que, le compteur s'arrêtant et laissant passer l'eau sans la compter, l'abonné se trouve avoir intérêt à ne pas le réparer. Dans le second, l'entretien est fait par l'exploitant, et le prix en est ou compté à part ou compris dans celui de la location. Quelques villes prennent à leur charge la fourniture et l'entretien des compteurs d'eau.

La position à donner au compteur est souvent précisée par les règlements, soit pour en faciliter le contrôle, soit pour limiter la partie de la canalisation à l'amont de l'appareil, sur laquelle pourraient être piqués des tuyaux qui fourniraient de l'eau non comptée et où les pertes occasionnées par les fuites échapperaient également au mesurage et à la redevance proportionnelle. C'est aussi près que possible du mur de face et dans un endroit facilement accessible que le compteur doit être installé. Il ne faut pas omettre aussi les précautions à prendre pour le préserver de la gelée.

Si l'abonné conteste l'exactitude du compteur, la vérification en est faite sur place ou à l'atelier et en sa présence. Cette opération peut être mise à ses frais, si elle a été demandée par lui ; mais elle ne donne pas lieu à recouvrement si elle est faite par l'exploitant et dans son seul intérêt.

Le compteur est, en général, cacheté ou plombé avant la pose, et il est interdit de le déplacer ou de le réparer, de faire aucun travail qui oblige à briser le cachet, sans en aviser le service et hors de la présence de ses agents. Quand il a pendant quelque temps laissé passer l'eau sans la compter, le paiement des fournitures d'eau faites pendant cette période est basé sur la moyenne de la consommation dans une période précédente, dont le règlement fixe quelquefois le choix.

378. Surveillance des canalisations intérieures. — Les prescriptions relatives aux canalisations intérieures sont plus ou moins strictes et précises, suivant l'importance que leur donne le mode d'abonnement choisi. Cette importance est considérable avec le robinet libre, car il y a un intérêt de premier ordre à réprimer les abus, à empêcher le gaspillage. Elle est infiniment moindre avec la jauge ou le compteur : pourvu qu'il n'y ait avant l'appareil de mesurage aucune perte, ni aucun détournement d'eau, que le débouché du branchement jaugé soit placé au-dessus du réservoir et non au fond, afin que le débit ne varie pas avec le niveau de l'eau dans ce réservoir, que la soupape à flotteur fonctionne et s'oppose à l'écoulement de quantités d'eau qui seraient évacuées inutilement par le trop-plein, il est assez indifférent pour l'exploitant que la canalisation et les appareils présentent telles ou telles dispositions.

Néanmoins, en dehors des clauses applicables aux abonnements à robinet libre et qui sont destinées à empêcher les écoulements continus et les pertes d'eau par l'emploi de robinets à repoussoir ou d'appareils spéciaux de divers types, beaucoup de règlements en contiennent d'assez nombreuses au sujet du mode d'établissement des canalisations inté-

rieures. Elles sont dictées, en général, par la considération de la sécurité qu'il est désirable d'obtenir dans l'intérieur des maisons, où les ruptures de conduites peuvent donner lieu à des dommages sérieux : elles portent sur la nature des matériaux à employer à la confection des conduites, sur les diamètres et les épaisseurs des tuyaux, sur les types d'appareils, pour lesquels on recherche les dispositions les meilleures en vue de prévenir ou d'atténuer les coups de bélier, sur les précautions à prendre contre la gelée, et notamment le mode de vidange, etc. C'est encore pour prévenir des accidents possibles qu'il est souvent interdit de brancher directement des alimentations de chaudières à vapeur sur les conduites d'eau, et qu'une autorisation spéciale est exigée pour l'emploi de l'eau comme force motrice ou son application aux monte-charges, etc. D'autres stipulations procèdent de préoccupations concernant l'hygiène : telle est, par exemple, celle qu'on rencontre quelquefois à l'étranger et qui prescrit d'alimenter les water-closets au moyen de petits réservoirs spéciaux, et exclut formellement tous appareils de ce genre qui seraient branchés directement sur les conduites.

Pour assurer l'exécution de ces diverses clauses, dont quelques-unes peuvent être fort onéreuses pour l'abonné, une surveillance est indispensable ; d'où le droit pour les agents de l'exploitation dûment commissionnés de pénétrer dans toutes les parties des habitations, droit que l'on trouve mentionné dans presque tous les règlements, ainsi que l'interdiction de rémunérer les agents pour quelque cause que ce soit. Les infractions donnent lieu à la fermeture du robinet de prise, sanction générale de toutes les prescriptions réglementaires, sans préjudice de l'exécution d'office qui est prévue souvent, et d'une pénalité qui consiste ordinairement en une amende assez élevée, soit fixe, soit proportionnelle au montant de l'abonnement.

Dans la grande majorité des cas, l'abonné est libre de faire exécuter par les ouvriers de son choix tous les travaux intérieurs. Quelquefois cependant, et en particulier aux États-Unis, il est tenu de s'adresser à des plombiers munis d'un diplôme constatant leur capacité professionnelle. Ailleurs, l'exploitant se charge lui-même des travaux aux prix de son tarif, les exécute gratuitement sous certaines conditions et moyennant des garanties particulières, ou, enfin, en fait l'avance et accorde des facilités pour le remboursement.

Les travaux terminés sont fréquemment l'objet d'un récolement contradictoire et d'un lever de plan ; et il est expressément interdit à l'abonné de rien changer aux dispositions primitives, consignées au plan, sans avis préalable et sans autorisation.

Enfin, la responsabilité de l'établissement, de l'existence et du fonctionnement de la canalisation intérieure est presque toujours mise entièrement à la charge de l'abonné, qui est tenu de l'assumer seul vis-à-vis des tiers.

379. Définition des usages de l'eau. — Souvent certains usages de l'eau sont formellement interdits par les règlements, les écoulements continus, par exemple, ou l'emploi de l'eau comme force motrice. D'autres ne sont permis que moyennant des conditions particulières, soit qu'une autorisation préalable soit requise — c'est le cas des ascenseurs dans quelques services d'eau, — soit qu'il y ait à prendre des dispositions spéciales, comme l'interposition d'un réservoir pour l'alimentation des water-closets ou des chaudières à vapeur.

Ainsi, quand deux eaux de nature différente peuvent être livrées à chaque abonné, il sera interdit d'employer l'une aux usages domestiques, l'autre aux lavages ou aux usages industriels.

Dans les distributions d'eau où il n'est pas exigé de redevance pour les fournitures d'eau en cas d'incendie, on prendra des garanties contre les fraudes auxquelles cette faveur pourrait donner lieu, en prescrivant que les bouches d'incendie seront piquées sur une canalisation intérieure spéciale, entièrement distincte des conduites servant à l'alimentation et sans communication avec elle, et plaçant sur le *branchement d'incendie* un *robinet cacheté* ou plombé qui sera manœuvré seulement au moment d'un sinistre. Cette dernière précaution, qu'on rencontre dans un grand nombre de villes, a été quelquefois critiquée comme pouvant créer un danger, parce qu'elle empêcherait les manœuvres fréquentes d'essai, et que le robinet cacheté serait exposé à ne pas fonctionner au moment du besoin ; mais on tourne aisément la difficulté, soit en plaçant à côté du robinet cacheté une *nourrice*, munie d'un compteur, qui fournit une seconde alimentation, soit en autorisant des manœuvres périodiques, en présence des agents du service qui rétablissent immédiatement les cachets brisés.

Il y a peu de règlements qui n'interdisent à l'abonné de faire profiter un tiers, même à titre gratuit, de l'eau qui lui est livrée : cette condition, de première importance avec les abonnements à robinet libre, n'est pas sans utilité même avec le compteur, surtout quand les tarifs sont différentiels. A plus forte raison est-il défendu de faire de l'eau un commerce quelconque, qui serait toujours au préjudice de l'exploitant et parfois aussi des consommateurs, sur lesquels des intermédiaires, si c'était possible, ne se feraient pas faute de prélever des bénéfices.

380. Interruptions de service. — Il n'est pas de service, si parfait, si bien organisé qu'il puisse être, qui ne soit exposé à des interruptions partielles et momentanées, à des chômages plus ou moins longs causés par des accidents fortuits, fuites, ruptures de conduites, par l'obligation d'exécuter des travaux de raccordement, de réparer des machines, ou par des défaillances de l'alimentation en temps de gelée ou de sécheresse. Aussi les règlements réservent-ils toujours le droit de suspendre à certains moments la fourniture de l'eau sans que les abonnés puissent réclamer de ce fait aucune indemnité.

Sauf les cas de force majeure, cette faculté est limitée d'habitude à un petit nombre de jours, et, au bout d'une période de 3, 5, 8, 15, 20 jours au plus, il est fait une réduction proportionnelle sur le prix des abonnements, si l'interruption de service vient à se prolonger. Mais les dommages indirects qui peuvent en résulter ne donnent jamais aux abonnés de droit quelconque à indemnité.

Il ne leur est rien accordé non plus, cela va de soi, pour toutes les gênes qui sont occasionnées par les incidents de moindre importance survenant dans la distribution, telles que baisses de pression, introduction d'air, coups de bélier, etc., qu'ils sont d'ailleurs tenus de signaler dès qu'ils les constatent, afin de mettre le service à même d'y porter promptement remède.

CHAPITRE XV

SERVICE PRIVÉ

L'EAU DANS LA MAISON

SOMMAIRE :

§ 1er *Distribution intérieure.* — 381. Nécessité de la pression. — 382. Divers types de canalisation intérieure. — 383. Dispositions particulières. — 384. Mode d'exécution.
§ 2. *Appareils de puisage.* — 385. Divers types de robinets. — 386. Fontaines, postes d'eau. — 387. Alimentation des appartements.
§ 3. *Appareils pour services spéciaux.* — 388. Alimentation des water-closets. — 389. — Alimentation des urinoirs. — 390. Bains. — 391. Lavabos. — 392. Bouches d'arrosage et bouches d'incendie. — 393. Fontaines décoratives.
§ 4. *Lavoirs et bains publics.* — 394. Usage de l'eau en commun. — 395. Lavoirs. — 396. Établissements de bains et d'hydrothérapie. — 397. Piscines de natation.
§ 5. *Production de force motrice.* — 398. L'eau comme force motrice. — 399. Mode d'emploi. — 400. Ascenseurs. — 401. Applications diverses.

§ 1er.

DISTRIBUTION INTÉRIEURE

381. Nécessité de la pression. — On ne peut songer à distribuer l'eau, par une *canalisation intérieure*, aux étages et dans les divers locaux d'une maison, que si elle y parvient *en pression*.

Dans le cas contraire, et si l'eau est fournie par un puits ou une citerne, toute l'installation se réduit ordinairement à la pose d'une poulie ou d'un treuil au-dessus du puits, ou d'une pompe à la sangle aspirant dans la citerne : il faut recourir à des seaux, à des arrosoirs, à des vases quelconques, pour transporter l'eau à bras jusqu'au lieu d'emploi, après l'avoir élevée, à bras également, un peu au-dessus du niveau du sol.

Quelquefois cependant, même avec une alimentation de ce genre, on se procure les avantages d'une distribution intérieure, en disposant, soit dans les combles de la maison, soit au sommet d'un pylône en

maçonnerie ou en charpente, un réservoir ordinaire, ou en plaçant dans les caves un réservoir dit élévateur, de dimensions appropriées. L'eau y est refoulée tantôt au moyen d'une pompe mue à bras ou actionnée par un manège ou un petit moteur, tantôt par l'intermédiaire d'un bélier ou d'un pulsomètre. Cela revient à créer de toutes pièces, dans la propriété même, un service particulier d'alimentation intermittente par élévation mécanique de l'eau.

Dans les villes pourvues d'une alimentation d'eau à basse pression, on est encore obligé de recourir pour les étages supérieurs des maisons à ces moyens plus ou moins incommodes; mais on peut du moins répartir l'eau dans les cours, les jardins et les appartements à rez-de-chaussée, par une simple canalisation.

Nous ne nous arrêterons pas à ces divers cas, et nous aborderons immédiatement celui où l'on cherche toujours à se placer aujourd'hui, en traitant de la distribution de l'eau à l'intérieur des maisons alimentées par un service d'eau à haute pression.

382. Divers types de canalisations intérieures. — Les dispositions générales des canalisations intérieures varient nécessairement avec le mode de livraison de l'eau.

Quand l'eau est fournie d'une manière intermittente ou par un écoulement continu mais limité, il faut nécessairement constituer un approvisionnement suffisantpour répondre à toute heure aux besoins, et, à cet effet, on installe au sommet de la distribution intérieure un ou plusieurs réservoirs. Par contre, lorsque l'eau est constamment à la disposition du consommateur, un semblable approvisionnement n'est plus indispensable, et la canalisation peut être établie sans réservoir d'aucune sorte.

De là, deux types différents d'aménagement de la canalisation d'eau à l'intérieur des maisons.

Dans le premier cas, la conduite d'alimentation, après avoir pénétré à l'intérieur de l'immeuble desservi, se redresse verticalement en *colonne montante*, s'élève jusqu'au point haut où est ordinairement placé le réservoir, et vient se terminer à l'orifice qui sert à le remplir, sans se raccorder sur le parcours avec aucun appareil de puisage. Du réservoir part une conduite de distribution entièrement distincte, ou *colonne descendante*, qui porte l'eau, soit directement soit par l'intermédiaire de branchements et de ramifications spéciales, aux divers points où il en est fait emploi. D'ailleurs le diamètre du tuyau alimentaire doit être plus grand quand la livraison de l'eau se fait par intermittences que si elle est continue. Son épaisseur sera toujours calculée pour résister à la pression maxima que peut lui transmettre la conduite publique, tandis que celle de la colonne descendante pourra être réduite, puisqu'elle supporte seulement la pression résultant de l'altitude du réservoir. C'est cette altitude enfin qui détermine seule la charge sur les divers orifices.

Dans le second cas, la disposition générale est bien plus simple : une

seule conduite ou colonne verticale sert à la fois à l'alimentation et à la distribution; de part et d'autre, en divers points de la hauteur, se détachent des branchements horizontaux, qui portent l'eau avec sa pleine

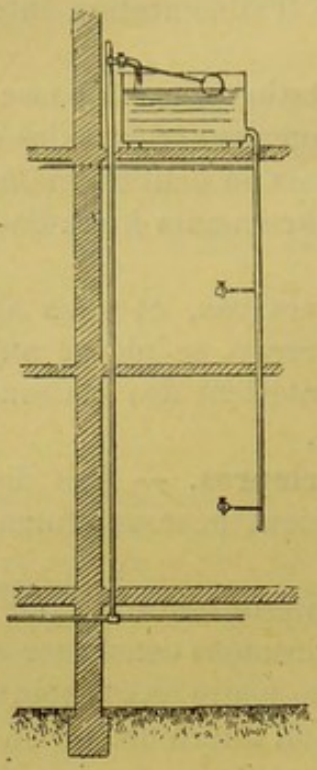


Fig. 479.

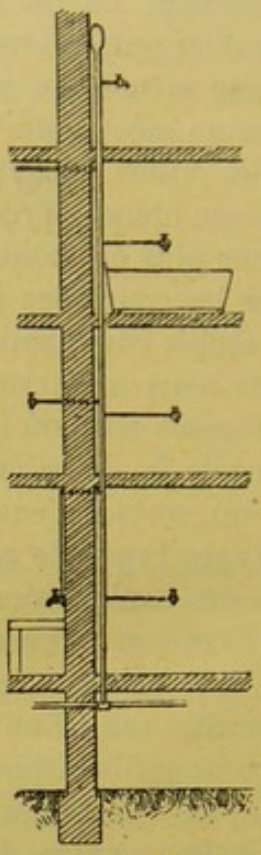


Fig. 480.

pression jusqu'aux orifices de puisage; elle est simplement tamponnée à l'extrémité supérieure. Cette même disposition pourrait aussi d'ailleurs s'appliquer au premier cas, à la seule condition d'adapter au bas de la canalisation un réservoir clos, où l'eau s'emmagasinerait en pression.

Les distributions complexes sont formées par la combinaison de deux ou plusieurs systèmes de canalisation, qui se ramènent presque toujours aux deux types précédents.

On rencontre aussi certaines variantes des dispositions types, mais elles sont généralement moins satisfaisantes, et ne répondent pas aussi bien aux conditions imposées par la plupart des règlements. Quelquefois par exemple, ce sera une conduite unique débouchant au fond d'un réservoir supérieur et faisant le service en route, ou encore aboutissant au-dessus du réservoir, mais reliée à la partie basse par un tuyau muni d'un clapet (fig. 481) : l'eau se rend alors aux orifices, soit directement de la conduite d'alimentation, soit en retour par le réservoir; la pression varie à chaque instant dans la colonne, et tout réglage précis de la jauge est impossible. D'autres fois on aura plusieurs réservoirs superposés d'étage en étage, l'eau arrivant directement par une colonne montante au réservoir de l'étage supérieur, pour retomber par le trop-

plein à l'étage immédiatement inférieur, puis de là à l'étage au-dessous et ainsi de suite, en formant une sorte de cascade (fig. 482) : cet arrangement exclut l'emploi de la soupape à flotteur à l'arrivée de l'eau, et donne

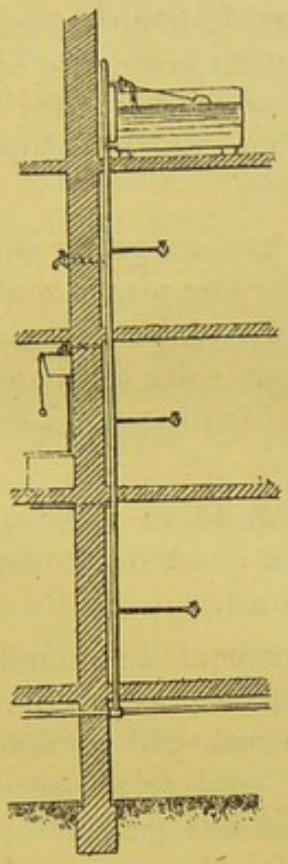


Fig. 481.

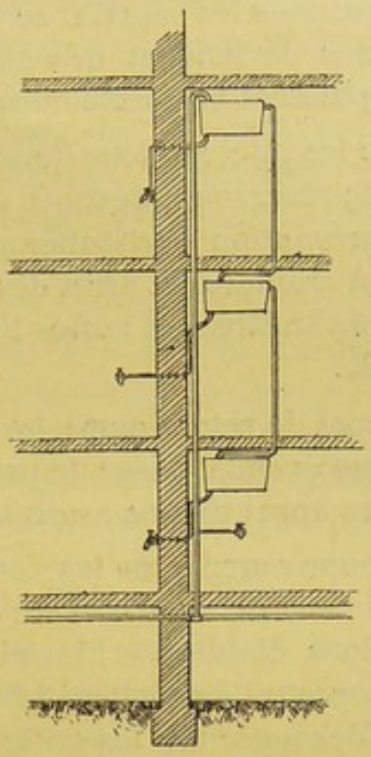


Fig. 482.

lieu par suite à des déperditions aux heures de faible consommation; en outre, à chaque étage, la pression dépend uniquement de la hauteur donnée au réservoir correspondant, et se trouve, par suite, très limitée.

Dans certains cas, par mesure de précaution, on dispose un réservoir sur une canalisation du second type ou à pression directe, à l'effet de parer aux interruptions momentanées qui se produisent parfois dans le service : ce réservoir se remplit au moyen d'un robinet à main ou d'une soupape à flotteur; un autre robinet qui s'ouvre à volonté le met en communication avec la colonne, quand il devient nécessaire de recourir à l'approvisionnement ainsi constitué. On obtiendrait le même avantage, sans s'astreindre à aucune manœuvre, en interposant un réservoir clos, dit élévateur, sur la partie basse de la canalisation.

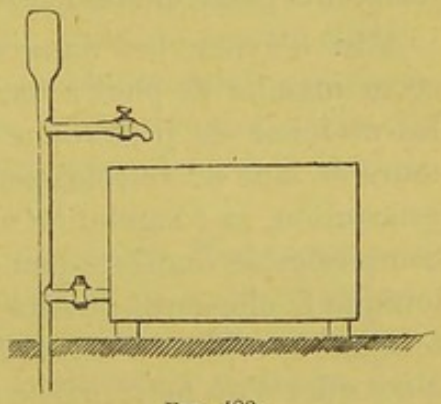


Fig. 483.

383. Dispositions particulières. — Toute distribution intérieure est

exposée à un certain nombre de petits accidents qu'il est à propos de prévoir, afin de prendre les mesures nécessaires pour en éviter les effets : outre les interruptions de service que nous venons de mentionner, il peut se produire des chutes de pression lentes ou brusques, des rentrées d'air, des coups de bélier, etc. Les variations de température sont parfois nuisibles, en particulier lorsqu'elles peuvent amener la congélation. Si, malgré tous les soins, il se produit des ruptures ou des fuites, des réparations deviennent nécessaires : on doit toujours faire en sorte qu'elles puissent être exécutées sans difficulté.

Contre les interruptions de service, on se met en garde par l'établissement de réservoirs, destinés à emmagasiner une provision d'eau suffisante : précaution particulièrement nécessaire dans les usines, où il y aurait à craindre un arrêt des machines par suite du manque d'eau, ou dans les théâtres et autres lieux publics où les incendies sont le plus à redouter.

Un clapet de retour empêche la canalisation de se vider quand, par suite d'une grande baisse de pression dans la conduite publique, il s'y produit un appel ou une aspiration momentanée.

L'air emprisonné dans les conduites au moment du remplissage, ou qui s'y introduit au cours de certaines manœuvres, gagne de là les canalisations établies à l'intérieur des maisons. S'il ne rencontre pas sur son parcours de coudes, de points hauts, où il se puisse cantonner, il vient s'échapper par les orifices au moment des puisages, sans produire d'autre effet qu'un bruit désagréable; dans le cas contraire, il peut donner lieu à des coups de bélier, contre lesquels il faut protéger les conduites et les appareils, soit en plaçant au bas des colonnes montantes un réservoir clos où l'air et l'eau peuvent s'emmagasiner, ou à la partie supérieure un corps élastique qui cède sous le choc, un ballon de caoutchouc ou des bouchons de liège par exemple, soit en ayant recours, pour les points particulièrement exposés, à des dispositions spéciales.

Afin d'éviter les dangers des variations de température, il est à recommander de placer tous les tuyaux à l'intérieur des maisons et de les attacher de préférence aux murs de refend, moins exposés que les murs de face au refroidissement d'une de leur parois. Si, malgré cette précaution, la congélation est à craindre, on a recours à des enveloppes composées de matières peu conductrices de la chaleur; ou mieux encore, lorsque la chose est possible, on vide toute la canalisation intérieure, en fermant le robinet d'arrêt placé à l'entrée de la maison et qui est pourvu à cet effet d'un petit orifice de décharge; d'autres fois, on évite la congélation en déterminant un léger écoulement continu, mais ce dernier moyen, qui entraîne une assez forte consommation d'eau, est souvent interdit par les règlements. Les réservoirs redoutent aussi le froid, et il convient de les établir dans des endroits clos et couverts, et même de

les envelopper pour les garantir contre la gelée, à moins qu'on ne puisse les vider sans inconvénient pendant quelque temps.

L'eau destinée à la boisson et aux usages domestiques en général doit être soigneusement défendue contre toute contamination possible. C'est ainsi qu'on ne saurait prendre trop de précautions pour l'empêcher de se gâter dans les réservoirs, pour la mettre à l'abri de toute infiltration suspecte par les interstices des toitures, de tout contact des gaz délétères ou de l'air vicié qui s'échappe des tuyaux d'évent des fosses d'aisances, des trop-pleins ou des tuyaux de chute en communication avec l'égout, etc. C'est pour le même motif que les Anglais préconisent si hautement la *disconnexion* des water-closets, proscrivant tout raccordement direct de l'orifice d'alimentation de ces appareils avec le réservoir principal de la maison ou avec la canalisation générale; ils craignent que, cet orifice venant à s'ouvrir à un moment où l'eau n'est pas en pression, l'air vicié ne soit aspiré dans la conduite. Le danger est moindre avec nos distributions d'eau, alimentées par un service constant, qu'avec le système intermittent encore si répandu en Angleterre, mais on peut dire qu'il n'est jamais nul, puisqu'il suffit bien souvent d'ouvrir en grand un robinet pour déterminer une aspiration à l'étage supérieur.

En vue de faciliter la surveillance et les réparations on recommande de laisser partout les tuyaux apparents, de ne jamais les noyer dans l'épaisseur des murs ou des enduits, de placer des moyens d'arrêt à l'origine de chaque ramification afin de pouvoir l'isoler à un moment donné, etc.

384. Mode d'exécution. — Le branchement d'eau pénètre ordinairement dans l'immeuble desservi en traversant le mur de face à une profondeur d'un mètre au moins au-dessous du sol; il se prolonge ensuite horizontalement, soit en tranchée, soit le long des murs de cave, pour gagner le point à partir duquel il se relève en colonne montante, afin d'atteindre successivement les divers étages. Immédiatement en arrière du mur de face doit être placé le robinet d'arrêt, puis un peu au delà le compteur, s'il est nécessaire. Sur la colonne montante sont piqués à chaque étage les branchements secondaires qui se ramifient dans les appartements et vont alimenter les divers orifices; chacun d'eux est pourvu à son origine d'un robinet d'arrêt spécial.

Les tuyaux employés sont le plus souvent en plomb. Nous avons vu dans un précédent chapitre qu'on emploie également le fer étiré ou galvanisé, le plomb étamé, etc., et nous ne reviendrons pas ici sur les avantages et les inconvénients respectifs de ces diverses matières. Les diamètres des conduits doivent être en rapport avec le service qu'ils ont à faire, le nombre d'appareils qu'ils alimentent, sans quoi les pertes de charge pourraient devenir considérables et les rentrées d'air fréquentes. Des crochets recourbés en fer, munis d'une pointe qu'on enfonce au mar-

teau dans la maçonnerie, servent à fixer les tuyaux en élévation le long des murs.

Les robinets d'arrêt, interposés sur le parcours des conduites, sont des robinets *à deux eaux* munis d'une clé à tête ou mieux d'un carré. Les

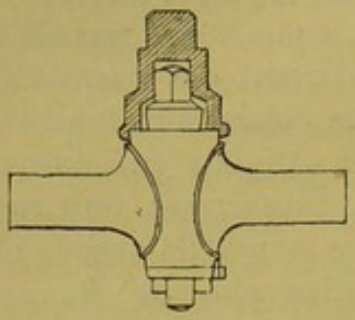


Fig. 484.

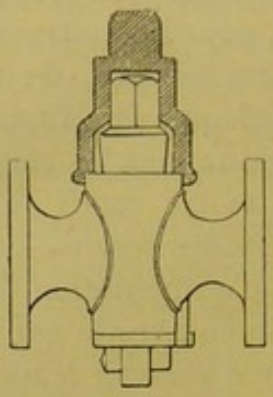


Fig. 485.

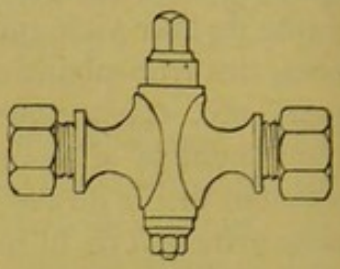


Fig. 486.

bouts en sont unis, ou à brides, parfois aussi à raccords. Dans le premier cas, ils se relient aux tuyaux de plomb de part et d'autre par des nœuds de soudure.

Le compteur est disposé soit dans un petit regard aisément accessible, soit sur une planchette portée par des consoles.

Quand un réservoir est nécessaire, on le place tantôt sur le plancher, tantôt sur des supports qui permettent d'en voir et entretenir le fond, ou sur des traverses qui laissent circuler l'air en dessous; quelquefois on l'établit sur un *terrasson* en plomb. Il est bon de le recouvrir d'un couvercle. Le robinet à flotteur doit être bien construit et entretenu avec soin, afin d'éviter les dérangements auxquels il est fort exposé et qui ont pour conséquence des pertes d'eau par écoulement continu. Le trop-plein est indispensable pour empêcher tout débordement du réservoir ; des précautions doivent être prises pour qu'il soit toujours en état de fonctionner.

§ 2.

APPAREILS DE PUISAGE

385. Divers types de robinets. — Les robinets de puisage, placés en divers points des canalisations intérieures, sont des robinets à deux eaux se raccordant d'une part avec le tuyau d'alimentation par un bout droit ou à bride, ou un raccord fileté, et présentant d'autre part une extrémité courbe, de manière à diriger le jet d'eau vers le bas. Ils sont presque toujours disposés normalement au mur sur lequel est fixée la conduite, à une distance suffisante de la paroi pour qu'on puisse amener

au-dessous le vase qu'il s'agit de remplir, et assez haut au-dessus du sol pour que la manœuvre en soit à la portée de la main.

Leurs dimensions varient suivant l'usage auquel ils sont destinés : d'assez gros diamètres dans les cours, dans les usines (0m,030 à 0m,040),

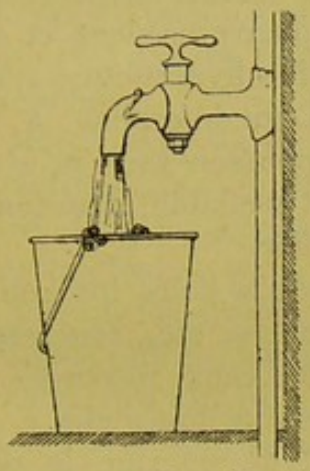


Fig. 487.

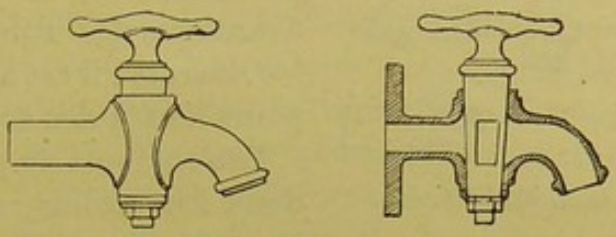


Fig. 488.

ils présentent des orifices plus étroits dans les cuisines (0m,010 à 0m,020), et plus petits encore dans les cabinets de toilette (0m,005 à 0m,008). On les exécute en bronze ou en laiton.

Les robinets ordinaires *à boisseau* ont l'inconvénient de donner lieu à des coups de bélier au moment de la fermeture. Aussi la tendance est-elle de les remplacer par des robinets *à vis*, dont la fermeture est progressive, et qui évitent par suite l'arrêt brusque de la colonne d'eau en mouvement ; dans ces appareils la vis commande un clapet garni de cuir ou de caoutchouc ; ils sont moins sujets aux fuites que les robinets à boisseau, et, lorsqu'il s'en produit, un rodage n'est pas nécessaire, il suffit de remplacer la garniture.

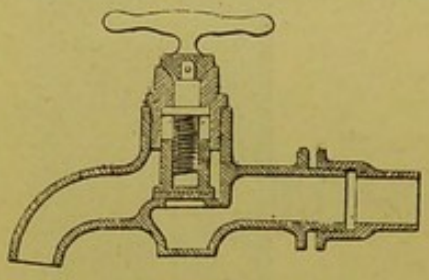


Fig. 489.

Pour éviter les inconvénients et les dangers que présentent les robinets ordinaires, quand on les laisse ouverts par inadvertance, on a recours fréquemment aux robinets *à repoussoir*, qui se ferment seuls par l'effet d'un ressort dès que la main les abandonne. Des dispositions

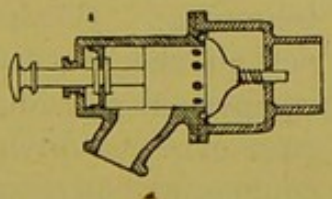


Fig. 490.

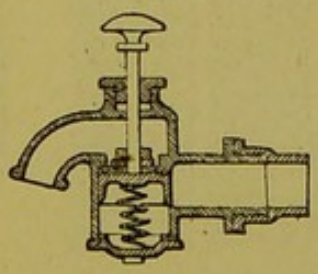


Fig. 491.

spéciales sont alors nécessaires, pour que le mouvement ne soit point trop brutal et ne provoque pas de coups de bélier : tel est l'objet de la double soupape appliquée par M. Chameroy. L'ouverture est obtenue au moyen d'un bouton, d'un levier, ou d'une tête qu'il faut pousser ou tourner, et qu'on cherche à rendre *incalable*. Le robinet *intermittent*, dont il a été question au chapitre précédent, et qui se ferme par l'effet d'une action hydraulique après l'écoulement d'un volume d'eau déterminé, a les avantages des robinets à repoussoir sans en avoir les défauts ; il est absolument incalable, et ne donne point lieu à des coups de bélier.

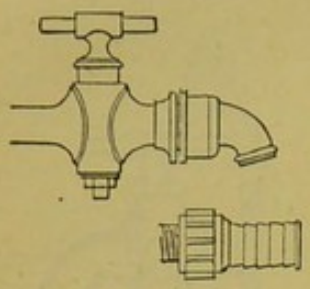


Fig. 492.

Les robinets de puisage placés dans les cours, dans les jardins, sur les paliers, etc., sont assez souvent munis d'un bout fileté, sur lequel on peut venir raccorder un boyau en cuir ou en toile pour l'arrosage ou le service d'incendie.

386. Fontaines, Postes d'eau. — L'appareil de puisage le plus simple, celui qu'on installe tout d'abord dans les maisons où l'on introduit l'eau de la distribution, consiste en une sorte de petite fontaine, placée le plus souvent dans la cour, quelquefois dans un vestibule ou un passage. Tantôt il affecte l'aspect d'une borne-fontaine tout à fait analogue à celles du service public, tantôt celui d'une fontaine adossée ou isolée, avec ou sans vasque, parfois ornée de sculptures et fournissant alors un motif agréable de décoration.

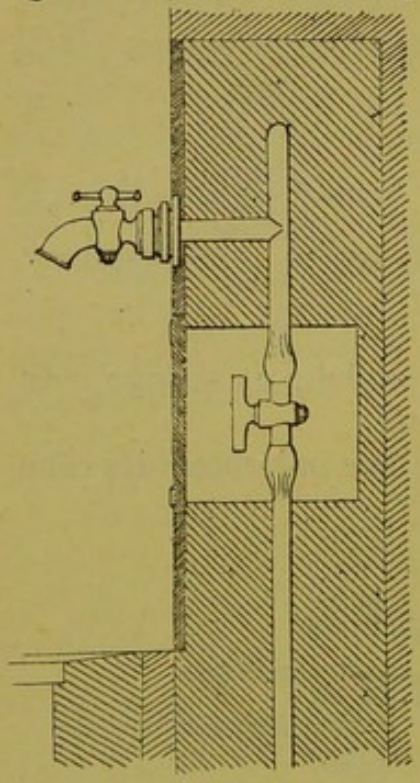


Fig. 493.

Ces petites fontaines se retrouvent dans les jardins où elles servent au remplissage des arrosoirs, dans les écuries pour l'abreuvage des chevaux, dans les remises pour le lavage des voitures, etc.

Fig. 494.

Elles prennent le nom de *postes d'eau* quand elles sont disposées à l'intérieur d'un bâtiment aux points où les puisages sont les plus fréquents. Généralement peu en vue, ces postes ne comportent d'ordinaire aucune ornementation : ils se composent d'un robinet simple en saillie sur un mur ou au fond d'une petite niche pratiquée dans l'épaisseur du mur et garnie d'un enduit ou d'un revêtement métallique, avec une sorte de cuvette au-dessous qui est reliée au système d'évacuation.

387. Alimentation des appartements. — Quand la canalisation pé-

nètre jusque dans l'intérieur des appartements, c'est tout d'abord sur la pierre d'évier des cuisines que vient se placer un premier robinet de puisage. La position qu'on lui donne est alors déterminée par la double condition d'être à la portée de la main et de se prêter aisément au remplissage d'un seau placé sur l'évier même. Ainsi disposé, il répond bien à tous les usages courants de la cuisine et peut servir à tous les besoins du ménage.

Mais bientôt l'augmentation du confortable et l'habitude d'employer des quantités d'eau de plus en plus grandes déterminent l'amenée de l'eau dans d'autres parties de l'habitation, aux emplacements mêmes où elle doit être employée, de manière à mettre fin à des transports incommodes et à éviter les projections sur le parcours. Des robinets sont alors établis dans les offices, les buanderies, les cabinets de toilette, etc.

Ceux des offices et buanderies sont analogues aux robinets placés dans les cuisines, ils sont disposés à peu près de même et présentent aussi un diamètre convenable pour le remplissage rapide d'un vase de 8 à 10 litres de capacité.

Ceux des cabinets de toilette ont au contraire un débit réduit, parce que les cuvettes ou vases qu'ils servent à remplir ne contiennent guère plus de 2 à 3 litres. On les place soit immédiatement au-dessus des cuvettes, soit mieux un peu plus haut, afin de pouvoir interposer sans difficulté un verre ou un pot à eau, tout en évitant que le jet d'eau en se brisant dans la cuvette ne projette des éclaboussures au dehors. Ils comportent une exécution plus soignée; et, quoique généralement encore en bronze, ils sont assez souvent argentés ou nickelés, pourvus d'une poignée en métal plus ou moins ornée, en bois ou en ivoire. Parfois le bec lui-même forme poignée mobile et il suffit de l'amener en position pour que l'écoulement se produise.

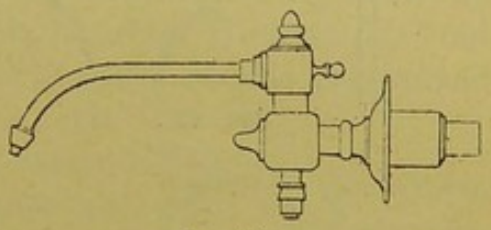


Fig. 495.

§ 3.

APPAREILS POUR SERVICES SPÉCIAUX

388. Alimentation des water-closets. — L'emploi de l'eau dans les latrines, bien que connu des Romains et des peuples orientaux, ne s'est répandu que fort tard dans nos pays. S'il a été introduit en Angleterre au temps de la reine Élisabeth et en France à une époque antérieure, il n'en est pas moins resté à l'état d'exception jusqu'à la fin du siècle dernier, et c'est depuis lors seulement qu'il s'est imposé peu à peu au point

d'être devenu la règle dans toutes les villes convenablement alimentées.

L'eau est amenée par un tuyautage spécial à la cuvette qui reçoit les matières, afin de l'entretenir en état constant de propreté et d'assurer l'entraînement rapide des déjections. Nous renvoyons à un autre chapitre la description des dispositions adoptées pour obtenir ce dernier résultat,et nous ne traiterons ici que de l'amenée de l'eau à l'appareil. On conçoit d'ailleurs que, suivant le résultat cherché, écoulement plus ou moins abondant, vitesse plus ou moins grande, chasses, fonctionnement à la main ou automatique, au moment où il est fait usage de l'appareil ou périodiquement à intervalles réguliers, etc., l'arrivée de l'eau soit réglée de diverses manières et donne lieu à des modes variés d'installation.

Tantôt l'eau est fournie directement par la canalisation intérieure de la maison, tantôt elle provient d'un petit réservoir spécial établi dans la même pièce que le siège et à une certaine hauteur au-dessus. L'alimentation est à haute pression dans un cas, à basse pression dans l'autre.

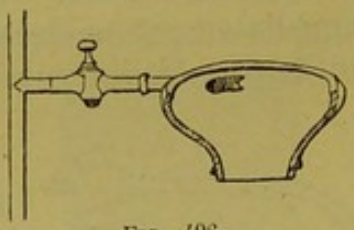


Fig. 496.

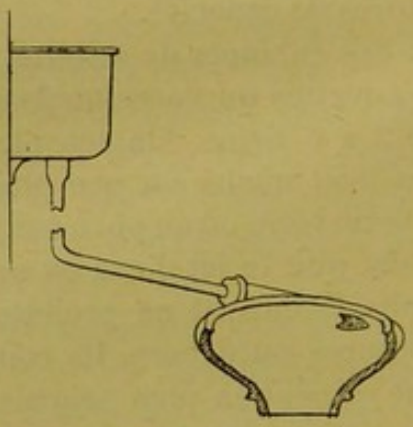


Fig. 497.

Le premier système permet d'obtenir une projection d'eau animée d'une plus grande vitesse et par suite un nettoyage plus efficace à la condition de faire tournoyer convenablement le liquide de manière à laver toute l'étendue des parois; le second peut fournir une masse d'eau plus considérable dans un temps donné et se prête mieux à l'organisation des *chasses*. Avec l'alimentation directe, les coups de bélier sont à redouter, et, pour en éviter les effets, on a dû imaginer une foule de dispositions, destinées toutes à régler la fermeture de la soupape, telles que cataracte, frein à ailettes, soufflet, double clapet, etc. ; avec le réservoir au contraire, l'eau s'écoulant sous une charge de $1^{m},50$ à 2 mètres seulement, le mouvement de la soupape est naturellement doux, sans bruit ni choc. On reproche d'ailleurs aux appareils à *connexion directe* la facilité avec laquelle ils peuvent donner lieu à des fuites par une soupape toujours soumise à une pression élevée, et le danger d'une contamination de l'eau dans la distribution intérieure de la maison s'il s'y produit une aspiration momentanée; mais le robinet à flotteur, ordinairement adapté aux petits

réservoirs, est également exposé aux fuites et perd presque toujours après quelques mois de fonctionnement ; et il peut aussi livrer accidentellement passage à l'air vicié.

L'ouverture de la soupape, qui détermine l'afflux d'eau dans l'appareil, est souvent obtenue par la manœuvre de l'organe mobile d'évacuation, clapet ou valve, qui se fait d'ordinaire au moyen d'une poignée placée

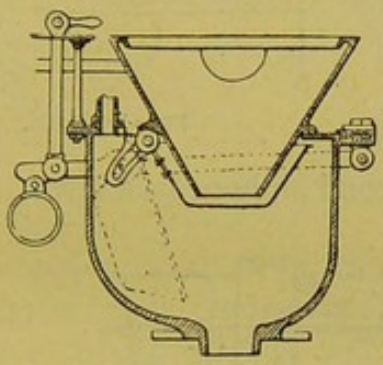


Fig. 498. — Pan-closet.

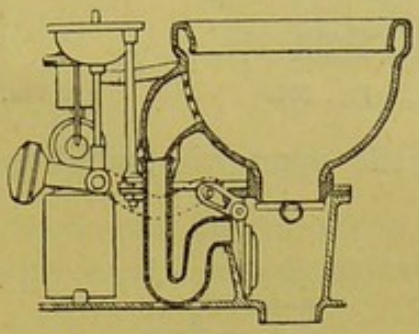


Fig. 499. — Valve-closet.

sur le siège à côté de la cuvette. C'est le type des *pan-closets* et *valve-closets* anglais, appliqué en France d'une manière presque générale jusque dans ces derniers temps. Quand des négligences sont à craindre, on peut remplacer la manœuvre à la main au moyen d'une poignée par une manœuvre automatique résultant du mouvement d'une pédale, du basculement du siège ou de l'ouverture de la porte. D'autres fois l'ouverture de la soupape qui livre passage à l'eau est rendue absolument indépendante de l'évacuation des matières ; elle se fait alors le plus souvent au moyen d'un *tirage*. Cette disposition convient particulièrement au cas où il n'y a pas à manœuvrer d'organe mobile d'évacuation, soit qu'on fasse usage d'un clapet à contrepoids, ou que l'orifice soit laissé béant et muni seulement d'un siphon hydraulique. Comme les négligences sont alors plus à redouter encore qu'avec les systèmes à clapets, il y a souvent avantage à remplacer le tirage par un mode quelconque de manœuvre automatique.

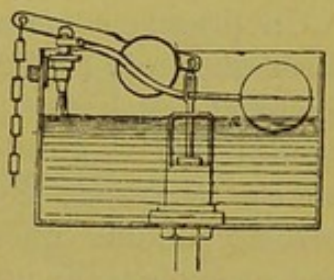


Fig. 500.

Pour obtenir des chasses abondantes et soudaines, il faudrait donner au tuyau d'arrivée de l'eau et à la soupape d'alimentation des dimensions assez grandes : le fonctionnement de cette soupape deviendrait alors très difficile à régler ; et, dans la plupart des cas, on la remplace par un appareil, où la chasse se produit par suite de l'amorçage brusque d'un siphon placé dans le réservoir spécial. Le type primitif de cet appareil est dû à l'ingénieur anglais Rogers Field ; mais la disposition très simple qu'il a proposée (*fig.* 501) laisse à désirer, parce que l'amorçage du siphon n'est pas certain et qu'à défaut il peut s'y établir en pure perte un petit

écoulement continu. On l'a perfectionnée depuis et imaginé une foule de combinaisons qui ont toutes pour objet d'assurer l'amorçage par l'emploi

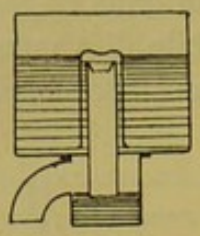


Fig. 501.

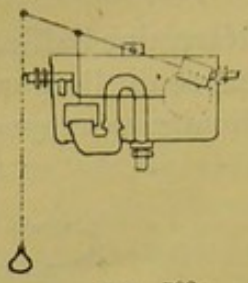


Fig. 502.

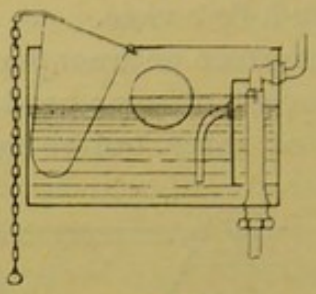


Fig. 503.

de moyens appropriés, addition d'un second siphon, basculement d'un

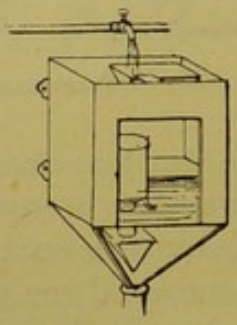


Fig. 504.

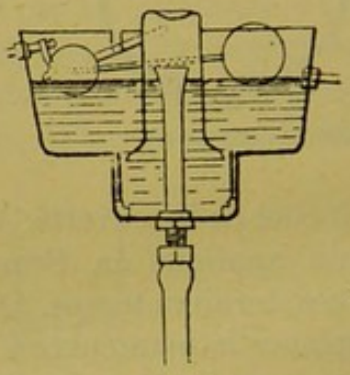


Fig. 505.

vase vide ou plein d'eau, déplacement d'une partie de l'appareil, injection d'eau en pression, etc.

Un tirage commande le plus souvent l'appareil de chasse. Mais il est facile aussi de régler l'arrivée de l'eau de manière à obtenir automatiquement des chasses périodiques, très recommandables pour le nettoyage continu des water-closets dans les grands établissements où ils sont affectés à l'usage d'une population nombreuse, toutes les fois qu'on ne redoute pas une consommation d'eau considérable faite souvent, la nuit, par exemple, sans utilité immédiate. Les chasses sont particulièrement applicables au cas où l'évacuation des matières, se faisant par l'intermédiaire d'un siphon hydraulique, exige d'abondantes projections d'eau. Elles ne sont admissibles que dans les villes où l'eau est répandue à profusion et à bon marché et où les tuyaux de chute aboutissent à l'égout.

Dans les appareils à clapet, 3 ou 4 litres d'eau bien employés suffisent au nettoyage complet de la cuvette. Pour cela, il est indispensable que le jet soit convenablement dirigé de manière à laver toute la paroi, et l'on y parvient assez bien en le faisant arriver tangentiellement, le projetant en éventail, ou le divisant pour former une série de petits jets en couronne. En Angleterre, une quantité d'eau de 2 gallons, soit environ 9 litres, est assez généralement admise : c'est évidemment beaucoup

plus qu'il ne faut pour un lavage même très efficace, mais souvent ce n'est pas assez pour assurer l'évacuation complète des matières par un siphon hydraulique à grande plongée, si bien que la limitation de la

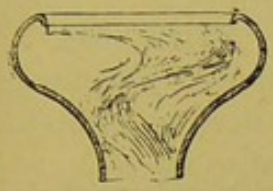


Fig. 506.

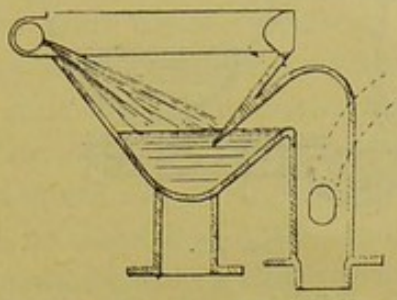


Fig. 507.

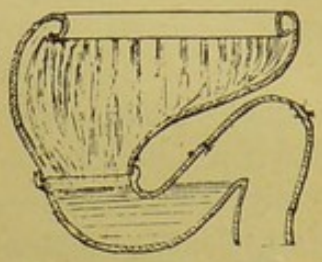


Fig. 508.

consommation d'eau à ce chiffre de 9 litres par un grand nombre de compagnies n'est pas sans soulever des protestations de la part de certains hygiénistes anglais.

La forme de la cuvette en grès vernissé ou en porcelaine n'est, d'ailleurs, pas indifférente, et l'on conçoit qu'elle peut être plus ou moins favorable au point de vue de la facilité du nettoyage. Aussi a-t-elle été l'objet d'études spéciales, et qui semblent conduire à donner la préférence à la disposition en *hotte,* à paroi à peu près verticale vers l'arrière et inclinée, au contraire, vers l'avant.

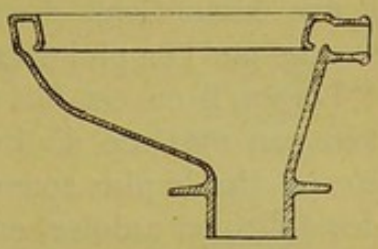


Fig. 509.

Dans certains appareils, l'eau est amenée d'avance dans la cuvette, de

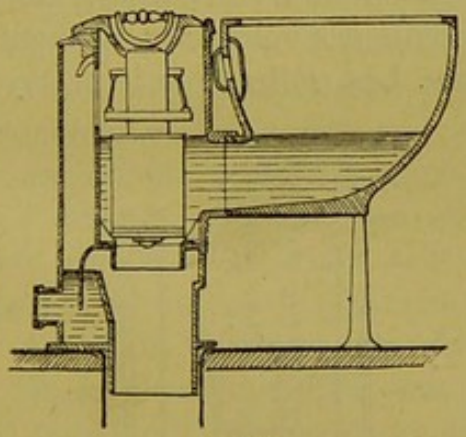
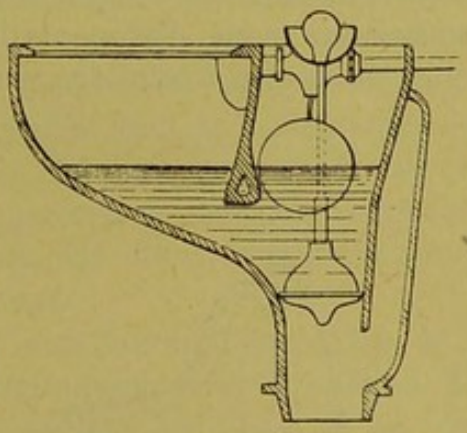


Fig. 510.



Fgi. 511.

sorte qu'elle reçoit les matières, les tient en suspension avant de les entraîner, et protège les parois contre toute souillure, assurant ainsi une sorte de nettoyage préventif. C'est le cas du *monkey-closet* ou *singe* de Jennings (*fig.* 510), du système anglais dit à double bassin (*fig.* 511), et de l'appareil français Havard-Loyer (*fig.* 512). Dans les deux premiers l'eau se renouvelle automatiquement à chaque manœuvre de l'organe mobile d'évacuation ; dans le dernier, l'alimentation se fait à volonté,

en appuyant sur la même poignée qui détermine, lorsqu'on la tire, l'ouverture du clapet.

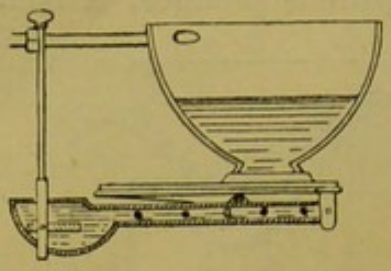


Fig. 512.

389. Alimentation des urinoirs. — On n'installe généralement pas d'*urinoirs* distincts des water-closets dans les maisons particulières. Mais ces appareils sont indispensables dans les locaux où un certain nombre d'hommes se trouvent constamment ou momentanément réunis, dans les casernes, les usines, les hôpitaux, les écoles, les gares, par exemple. Et comme, à défaut de soins, ils donnent immédiatement lieu à des émanations désagréables et malsaines, il faut en assurer le nettoyage par l'emploi d'eau en abondance.

Lorsqu'il en est fait usage d'une manière presque continue, ils reçoivent un système d'alimentation identique à celui des urinoirs publics, c'est-à-dire le plus souvent une nappe mince coulant sur toute la surface des dalles en ardoise, en fonte, en pierre ou en lave émaillée.

Si, au contraire, l'usage en doit être intermittent, ou s'ils ne sont visités que par un nombre restreint de personnes, on peut renoncer au lavage continu, qui comporte une consommation d'eau considérable, et disposer un mode d'alimentation fonctionnant à volonté au moment du besoin, analogue à celui des water-closets. Les *stalles*, dont le nettoyage

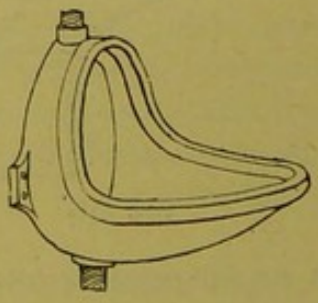


Fig. 513.

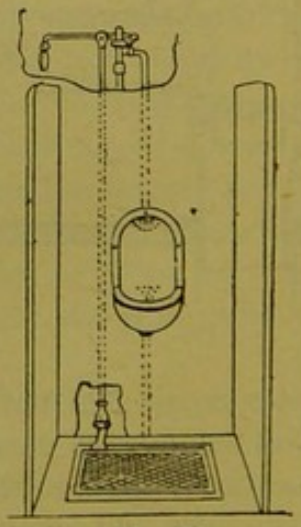


Fig. 514.

est relativement onéreux, peuvent être alors avantageusement remplacées par des bassins ou cuvettes isolées, généralement en porcelaine,

dont le lavage, beaucoup plus facile, peut se faire avec une quantité d'eau bien moindre. Un tirage, un bouton, ou mieux une pédale — l'emploi en est particulièrement indiqué dans ce cas — commande l'afflux d'eau qui provient soit de la conduite en pression, soit d'un petit réservoir spécial. On peut aussi disposer l'alimentation de manière à produire des chasses soit à volonté, soit automatiques, au moyen d'appareils analogues à ceux décrits au paragraphe précédent.

390. Bains. — Une salle de bain devrait être chez nous, comme en Angleterre, le complément obligé de la canalisation intérieure des habitations et non plus un objet de luxe réservé à quelques privilégiés ; il y a là un progrès considérable à réaliser au point de vue de l'hygiène, et il est à désirer que de grands efforts soient faits pour y parvenir.

Les dispositions à prendre pour l'alimentation des bains en eau froide sont, d'ailleurs, extrêmement simples. Il suffit d'amener près de la baignoire un conduit aboutissant à un robinet placé au-dessus et à la portée

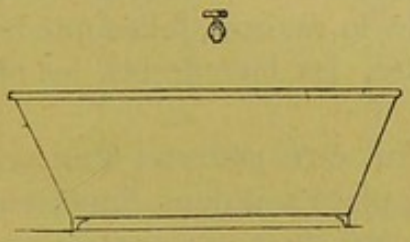


Fig. 515.

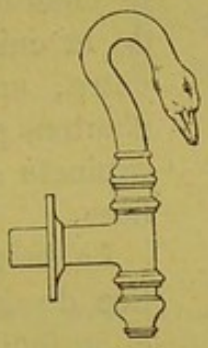


Fig. 516.

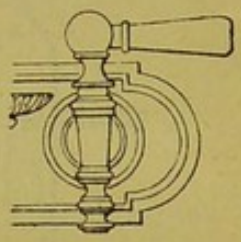


Fig. 517.

de la main ; le jet doit être dirigé verticalement de manière à éviter des projections désagréables, et, à cet effet, on emploie des robinets de forme particulière, dont l'orifice est placé directement au-dessous de la clé. Quelquefois, on a fait arriver l'eau par le fond de la baignoire de manière qu'une seule ouverture serve à l'alimentation et à la décharge : cet arrangement est mauvais, car il pourrait en résulter, dans certains cas, des rentrées d'eau sale ou savonneuse dans la distribution d'eau propre, et on doit le proscrire absolument.

La seule difficulté que rencontre l'installation d'une salle de bain, c'est le *chauffage*. Elle peut être résolue de plusieurs manières. Tantôt la quantité d'eau nécessaire à un bain — 150 à 300 litres — est amenée à la température convenable dans une petite chaudière spéciale, placée à côté de la baignoire, et chauffée par un foyer au charbon ou au coke ou par la flamme du gaz : l'eau chaude est amenée par un tuyau branché sur la chaudière à un second robinet placé au-dessus de la baignoire et semblable au robinet d'eau froide. Tantôt l'eau est chauffée dans la baignoire même, soit au moyen d'un foyer portatif qui y est plongé pendant le temps voulu, soit par l'intermédiaire d'un foyer latéral et en établissant une circulation continue. D'autres fois enfin, l'eau en pression, prove-

nant directement de la distribution, s'échauffe en traversant un bouilleur ou un serpentin placé au-dessus d'un foyer dans une pièce voisine. Le

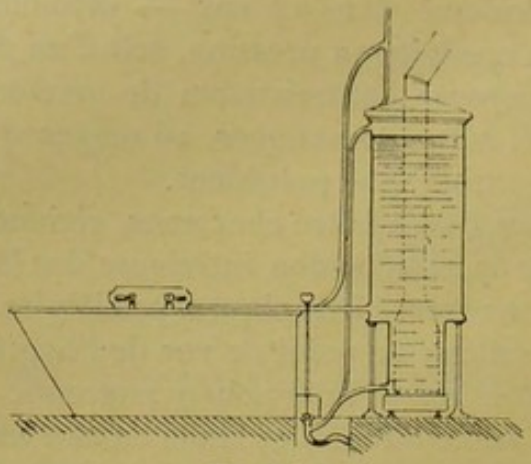


Fig. 518.

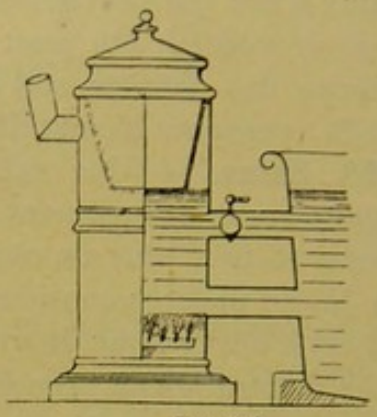
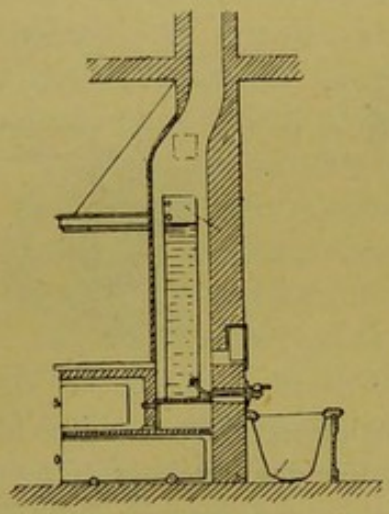


Fig. 519.

dernier procédé est particulièrement avantageux quand on utilise pour le chauffage les gaz perdus du fourneau de la cuisine, ce qui permet d'établir, en outre, une circulation d'eau chaude dans d'autres parties de la maison, telles que les cabinets de toilette, les buanderies, les offices.



Plan

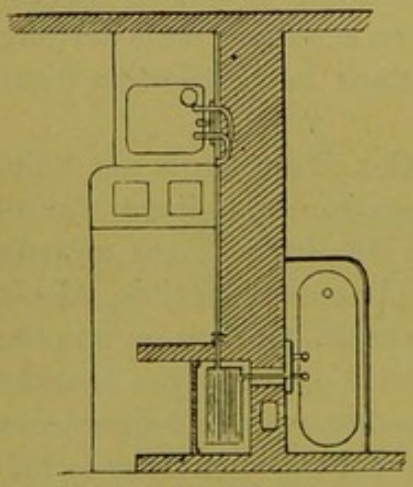


Fig. 520.

La baignoire doit être pourvue d'un orifice de décharge, placé soit dans l'intérieur et au fond, soit à côté, dans une petite capacité spéciale, qui lui est reliée par un tuyau ; il serait bon de la munir aussi d'un trop-plein, qui préviendrait tout débordement en limitant la montée de l'eau à un niveau déterminé. Les réservoirs d'eau chaude doivent toujours aussi recevoir un trop-plein, ainsi qu'une décharge indispensable pour le nettoyage et l'enlèvement des dépôts calcaires.

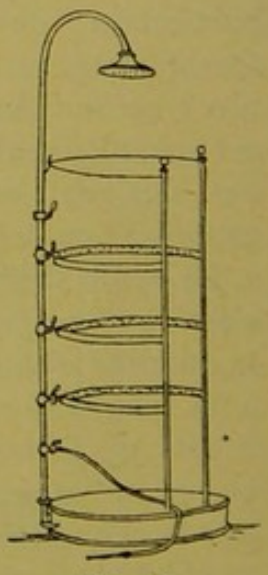


Fig. 521.

Quand on a un emplacement suffisant, rien n'est plus facile que de compléter l'installation de la salle de bain en y disposant un appareil hydrothérapique avec eau chaude et eau froide, permettant d'administrer des *douches* en pluie, en jet, en cercles, etc.

391. Lavabos. — L'établissement de *lavabos*, avec arrivée d'eau au-dessus des cuvettes et décharge directe, constitue aussi dans les habitations un précieux avantage et devrait être généralisé.

La disposition de ces appareils n'est pas indifférente ; et il faut notamment rejeter celle qui a été admise dans certains lavabos anglais (*fig.* 522), où l'eau propre, chaude ou froide, arrive dans le fond de la cuvette et par le même orifice qui sert à l'évacuation; quelque ingénieuse que soit la combinaison des divers organes destinés à produire ce résultat, ils peuvent donner lieu à des mélanges fâcheux qu'il importe de prévenir.

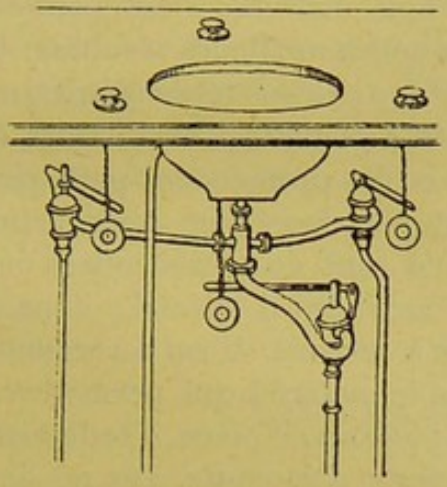


Fig. 522.

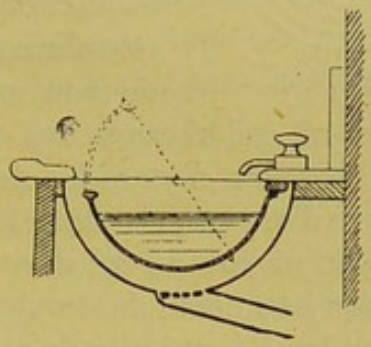


Fig. 523.

Les cuvettes à bascule sont peu recommandables aussi, parce que le récipient inférieur fixe, dans lequel se déverse leur contenu au moment où on les vide, n'est pas facile à atteindre et à nettoyer, et devient aisément par suite le siège d'émanations incommodes et malsaines. La position qu'on donne assez souvent au robinet d'alimentation, sur le bord de la cuvette et à une faible hauteur au-dessus, prête également à la critique par ce motif qu'il ne peut être utilisé pour le remplissage d'un vase mobile quelconque.

Fig. 524.

Il convient de placer ce robinet suffisamment haut pour cet usage, tout en le laissant à la portée de la main, et de manière qu'il donne vers le centre de la cuvette un jet bien vertical. Le départ de l'eau se fera par le fond au moyen d'une soupape manœuvrée au moment du besoin par l'intermédiaire d'un bouton. Un trop-plein s'opposera aux débordements. Toutes les précautions doivent être prises d'ailleurs pour que les mauvaises odeurs du tuyau de chute ne puissent se répandre dans l'appartement par l'un ou l'autre de ces deux orifices.

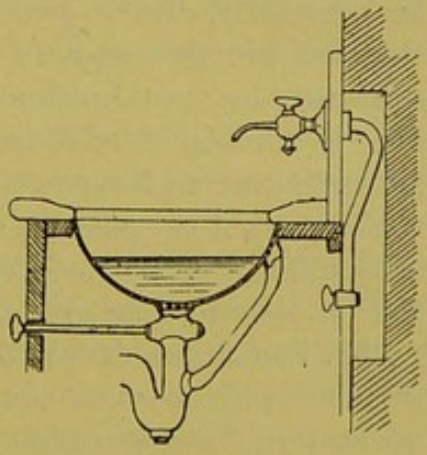


Fig. 525.

392. Bouches d'arrosage et bouches d'incendie. — Les *bouches d'arrosage*, qu'on emploie dans les jardins particuliers, sont en général du même type, mais un peu plus petites, que celles qui sont en usage pour le service public et que nous avons précédemment décrites. Souvent on se contente de robinets à raccord, qui servent au remplissage des arrosoirs, et sur lesquels viennent s'adapter au besoin les raccords mobiles des boyaux d'arrosage. Quant à ces boyaux, ils se font en cuir, en toile, en caoutchouc : le cuir est coûteux, la toile peu durable, mais légère et à bon marché, c'est peut-être le caoutchouc qui donne les meilleurs résultats. On les remplace avec avantage par des tubes pliants, montés ou non sur chariots à roulettes, semblables à ceux qui servent à l'arrosage des chaussées et des promenades publiques.

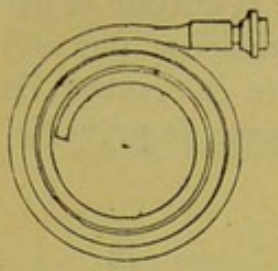


Fig. 526.

Les *bouches d'incendie* ne diffèrent pas dans leur construction des bouches d'arrosage : dans les cours, ce sont de petits coffres en fonte arasés au niveau du sol et renfermant un raccord spécial ; dans l'intérieur des bâtiments de simples robinets à raccord. Il est à recommander de disposer à proximité de ces bouches le matériel qui permettra de les utiliser, boyaux, lances et accessoires ; le tout se place d'ordinaire sous verre dans une boîte qui complète le *poste d'incendie*. On ne doit pas omettre de faire périodiquement des essais de fonctionnement des bouches d'incendie, afin de ne pas s'exposer à trouver au moment d'un sinistre soit quelque robinet grippé, soit un matériel incomplet ou hors d'usage. L'installation des *secours d'incendie* mérite d'appeler particulièrement l'attention dans les établissements où se trouvent réunies à certains moments un grand nombre de personnes, ou qui renferment des dépôts importants de matières combustibles : ces deux conditions défavorables se trouvent réunies dans les théâtres, qui doivent en conséquence être placés en première ligne parmi les édifices à protéger contre le feu. Il convient d'y multiplier les postes d'incendie, d'y placer des appareils, dits de *grand secours*, destinés à y répandre l'eau à profusion au premier signal : pour avoir lors du besoin un débit partout suffisant, les canalisations intérieures doivent être mises en rapport avec le nombre et les dimensions des orifices à desservir, ce qui malheureusement ne se fait pas toujours ; on n'obtient d'ailleurs une sécurité réelle que s'il est possible de parer aux interruptions de service, inévitables dans tout service d'eau, soit en réalisant une double alimentation, soit en disposant de grands réservoirs d'approvisionnement.

393. Fontaines décoratives. — Après avoir rempli dans les maisons et leurs dépendances son rôle utilitaire, l'eau peut encore servir à la décoration des appartements, des jardins et des parcs.

Chez les Orientaux, les *fontaines jaillissantes* ont été à toute époque l'ornement le plus apprécié d'une habitation, le complément nécessaire

d'un intérieur confortable. Elles peuvent quelquefois aussi trouver leur place dans nos demeures et fournissent par exemple une note agréable dans une vaste serre, un jardin d'hiver, dans un grand vestibule, dans une cour plantée. Il convient d'en rapprocher les *aquariums*, où se jouent des poissons à couleurs vives, et qui sont recherchés dans certains pays.

C'est dans les jardins surtout que l'eau est un précieux élément de décoration ; et l'art a su en tirer bien souvent un parti merveilleux pour charmer les regards dans les parcs des villas et des châteaux, soit en y associant l'architecture et la statuaire, soit en cherchant à imiter les effets de la nature, comme nous avons déjà eu occasion de l'indiquer dans un précédent chapitre. De tout temps et chez tous les peuples, les *eaux vives* ont été considérées comme l'ornement par excellence des jardins les plus luxueux.

§ 4.

LAVOIRS ET BAINS PUBLICS

394. Usage de l'eau en commun. — Parmi les emplois de l'eau à l'intérieur des maisons, il convient de ranger celui qui en est fait en commun dans certains établissements pour le lavage du linge et l'entretien du corps.

La dépense que comportent les installations destinées à ces usages dans les habitations ne permettra jamais de les réaliser partout, quelque désirable que ce soit ; et, par suite, l'intérêt bien entendu de l'hygiène urbaine commande de tendre au développement des établissements destinés à y suppléer et qui peuvent rendre d'immenses services à la population.

Les *lavoirs*, répondant à un besoin impérieux, sont assez répandus ; et c'est l'amélioration des lavoirs actuels qu'il y a lieu de poursuivre plutôt que l'augmentation de leur nombre.

Il n'en est pas de même des *bains publics*, qui, malgré l'importance attachée à juste titre par les hygiénistes modernes à l'usage des bains, sont encore rares dans la plupart de nos villes, en même temps que fort médiocrement installés. Même en Angleterre, où cependant on en a beaucoup encouragé la création, ils n'ont pas encore reçu l'extension qu'ils comportent. Et, sans vouloir aller aussi loin que les Romains, qui avaient fait jadis de leurs Thermes un lieu de réunion et de plaisir, nous avons à réaliser sur ce point une transformation complète.

395. Lavoirs. — Un lavoir, réduit à sa plus simple expression, consiste en un bassin peu profond, bordé de planches à laver, autour

duquel viennent s'accroupir les lavandières, et dans lequel un filet d'eau renouvelle peu à peu l'approvisionnement. Dans les villages, on se contente généralement de cette installation sommaire, complétée par l'établissement d'un hangar, qui sert à la fois d'abri pour les laveuses et de séchoir pour le linge.

Dans les villes, il est indispensable d'y ajouter un mode de chauffage de l'eau, afin que le lessivage du linge puisse avoir lieu dans le lavoir même. D'autre part, comme l'emplacement dont on dispose est presque toujours assez restreint, et comme il faut ménager l'eau empruntée à la distribution, le bassin est remplacé le plus souvent par une série de petites cuves qui peuvent être remplies à volonté d'eau froide ou d'eau chaude. Des séchoirs spéciaux sont établis dans les dépendances des lavoirs, à moins que, pour diminuer encore l'espace occupé et hâter les opérations, on n'ait recours à des machines essoreuses.

396. Établissements de bains et d'hydrothérapie. — Un établissement de bains ordinaire comporte une installation fort simple: il se compose d'une série de cabinets, pourvus chacun d'une baignoire, au-dessus de laquelle se trouvent deux robinets fournissant respectivement l'eau froide et l'eau chaude. Une distribution d'eau à basse pression peut l'alimenter aisément, car il suffit de placer à un niveau un peu plus élevé que les baignoires le réservoir destiné à constituer l'approvisionnement indispensable pour assurer le service en cas d'interruption momentanée de l'alimentation. La chaudière qui sert à échauffer une portion de l'eau est mise en communication avec ce réservoir. Deux canalisations parallèles vont porter l'eau chaude et l'eau froide dans les diverses parties de l'établissement.

Quand l'eau arrive avec une pression assez élevée, ce qui est le cas général dans les distributions d'eau modernes, rien n'est plus facile que d'annexer aux établissements de bains des salles d'hydrothérapie, permettant d'administrer des douches. L'addition d'un mode quelconque de production de vapeur d'eau fournit aussi un utile complément d'installation.

Dès lors ce n'est plus seulement l'hygiène, mais aussi la médecine qui trouve dans ces établissements un précieux auxiliaire. En combinant l'eau froide en pression, l'eau chaude, la vapeur, en y ajoutant des sels solubles, des aromates, etc., elle en tire un excellent parti dans le traitement d'un grand nombre d'affections.

397. Piscines de natation.— Dans les villes largement alimentées, on peut installer des *piscines*, où à l'utilité du bain vient se joindre l'attrait de la natation: c'est une forme très heureuse des bains populaires. Depuis longtemps déjà, certaines villes ont vu se créer et prospérer des établissements de ce genre; il convient de citer notamment Londres et Vienne.

A Paris, plusieurs tentatives étaient restées infructueuses; mais ré-

cemment M. Christmann est parvenu à y établir deux grandes piscines destinées particulièrement à la classe ouvrière, l'une rue de Château-Landon, l'autre boulevard de la Gare. Chacune d'elles se compose d'un bassin unique, à fond incliné et profondeur variable, où l'eau se renouvelle d'une manière continue et arrive tiède de manière à y maintenir une température convenable. Des cabinets sont disposés tout autour du bassin ; des salles de douches, des bains de vapeur complètent l'installation, qui est très satisfaisante, et a valu dès le début au premier de ces établissements un succès bien mérité. Grâce à une heureuse combinaison, la dépense du renouvellement et du chauffage de l'eau a pu être en grande partie évitée : ce sont, en effet, les eaux de condensation de deux usines élévatoires de la Ville de Paris qui assurent le service de ces piscines, et elles ont été concédées à titre gratuit, moyennant l'acceptation d'un tarif peu élevé et certaines réductions spéciales accordées aux enfants des écoles et aux soldats de la garnison.

Cette initiative a porté ses fruits, et d'autres établissements du même genre, mais plus luxueux, ont été fondés en d'autres points de Paris pour offrir aux classes aisées des avantages analogues. En même temps, l'administration du Nouveau Cirque adoptait dans le même ordre d'idées une combinaison originale qui paraît lui avoir réussi : au-dessous de la piste destinée aux exercices hippiques, et qui peut disparaître à volonté, a été disposé un bassin circulaire, où se donnent en hiver des spectacles nautiques et qu'on utilise en été comme piscine de natation.

§ 5

PRODUCTION DE FORCE MOTRICE.

398. L'eau comme force motrice. — Les conditions dans lesquelles se présente habituellement l'eau distribuée dans les villes sont assez peu favorables à son emploi pour la production de la force motrice.

En effet, la pression n'y dépasse guère 40 à 50 mètres ; on la considère comme très exagérée quand elle atteint 100 mètres. Or, les distributions spéciales d'eau comprimée pour le service des moteurs hydrauliques, dans les ports et les gares où on en a installé, fonctionnent couramment à la pression de 50 atmosphères ou plus de 500 mètres ; quelquefois même cette pression est dépassée, et l'expérience a prouvé que l'emploi de ce mode de production de la force n'est pas avantageux quand on descend au-dessous. D'autre part, tandis que des accumulateurs maintiennent la pression absolument constante dans ces installations, on sait que, dans les distributions d'eau urbaines, elle est au contraire exposée à des variations continuelles, ce qui est encore une condition fâcheuse

quand on se propose de l'utiliser pour mettre en marche des machines. Enfin l'eau est presque toujours payable dans les villes à la quantité, au mètre cube, indépendamment de toute considération de pression, de sorte que la dépense n'est pas proportionnelle à la puissance utilisable.

Ces indications montrent qu'il n'y a guère lieu d'encourager, en général, l'emploi de l'eau des distributions à la production de force motrice. Il faudrait pour cet usage qu'elles remplissent des conditions absolument différentes de celles qu'on réalise dans la plupart des cas, et, si l'on se proposait de les y adapter, on serait presque toujours conduit à de telles dépenses qu'il n'y aurait aucun avantage à en tirer. C'est seulement dans certaines circonstances toutes particulières, où l'on dispose naturellement d'eau à très haute pression, ou pour certains usages spéciaux, qu'il peut y avoir lieu d'y recourir. D'ailleurs, il existe bien d'autres moyens de se procurer de la force motrice ; et, en présence des difficultés que rencontre trop souvent l'établissement des distributions d'eau destinées à répondre seulement aux besoins de l'alimentation proprement dite, on conçoit qu'il conviendra de ne pas les augmenter encore par des exigences auxquelles il est possible et facile de répondre par des procédés différents.

Aussi, dans les villes où l'emploi de l'eau comme force motrice peut prendre une sérieuse extension, semble-t-il bien préférable, au lieu de la demander à la canalisation qui dessert les besoins domestiques, de la distribuer séparément pour cet usage et dans des conditions meilleures par une canalisation distincte. C'est ce qui s'est fait à Londres, par exemple, où fonctionne une distribution de force motrice à domicile par l'eau comprimée, sans rapport aucun avec les services d'eau urbains.

399. Mode d'emploi. — Quoi qu'il en soit, il est des cas où l'eau distribuée dans les villes pour tous les usages peut rendre certains services en fournissant de la force.

Ainsi elle peut être utilement employée à élever un poids à une hauteur modérée. La disposition connue sous le nom de *balance hydraulique* se prête bien à ce genre de travail et donne dans des conditions favorables un rendement très satisfaisant : deux bennes, suspendues aux extrémités d'une corde ou d'une chaîne passant dans la gorge d'une poulie placée à la partie supérieure, sont alternativement remplies d'eau quand elles arrivent au haut de leur course et vidées quand elles ont effectué leur descente, la benne pleine d'eau entraînant dans son mouvement la benne vide et les matériaux qu'on y a chargés. On peut aussi remplacer les bennes par des wagonnets, roulant sur un plan incliné, et reliés par un câble passant, comme la corde de la balance, sur une poulie disposée vers le haut du plan incliné. En faisant agir l'eau en pression sur un piston, qui entraîne dans son mouvement un plateau chargé, on obtient le *monte-charge*, qui reçoit tous les jours des applications nombreuses, et dont le rendement, sans être aussi élevé que celui de la

balance, est encore assez avantageux : tantôt le plateau est placé directement sur le piston moteur dont la longueur doit être alors supérieure à celle de la course, tantôt il est suspendu à l'extrémité d'une corde ou d'une chaîne, qui sert à le relier au piston et permet d'en réduire la course dans telle proportion qu'on le désire, en augmentant sa section.

S'il s'agit d'actionner des machines à mouvement rotatif, on a recours soit à de petits moteurs à plusieurs cylindres du type Brotherhood, soit à des turbines à axe vertical, qui se prêtent aisément à l'utilisation de pressions très diverses sans cesser d'avoir un rendement élevé.

A l'origine, le service de la transmission pneumatique des dépêches dans Paris a fait usage de l'eau comme force motrice : l'air était comprimé dans un réservoir par l'effet de l'introduction de l'eau, tandis qu'il était raréfié dans un autre, où l'on mettait l'eau en décharge, et les boîtes, placées dans le tuyau qui reliait entre eux les deux réservoirs, y formant piston, étaient entraînées par suite de la différence des pressions de part et d'autre. On a dû bientôt renoncer à ce système, qui était fort onéreux.

Quel que soit d'ailleurs le type des appareils adoptés pour l'utilisation de l'eau à l'effet de produire de la force motrice, il ne faut jamais oublier que cette eau, provenant de la distribution urbaine, est exposée à des variations fréquentes et inopinées de pression, à des interruptions complètes, à des rentrées d'air, à des coups de bélier ; et il y aurait imprudence à ne pas tenir sérieusement compte de ces conditions particulières dans l'étude et la mise en mouvement des engins appropriés auxquels on a recours.

400. Ascenseurs. — Depuis peu d'années, l'eau des distributions urbaines a trouvé une application importante dans la commande des *ascenseurs*, destinés au transport des personnes dans les maisons à étages, et qui ne sont autre chose qu'une transformation des monte-charges. Cette application est justifiée, car l'eau a nécessairement une pression suffisante pour actionner un ascenseur, toutes les fois qu'elle peut atteindre les étages supérieurs et y alimenter des robinets d'appartement.

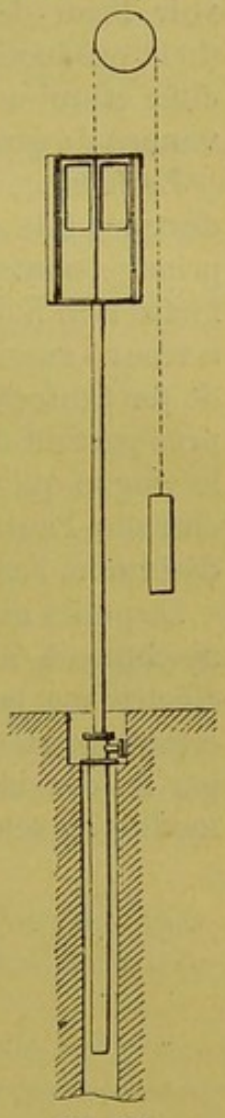


FIG. 527.

L'ascenseur Édoux, le premier en date, consiste essentiellement en un piston portant une cabine équilibrée par des contre poids, suspendus à des chaînes qui s'engagent dans des poulies placées au-dessus de l'appareil. Les diverses dispositions, imaginées et appliquées ultérieurement, ne sont que des variantes du type primitif : les unes ont eu pour objet de supprimer les inconvénients et les dangers des contrepoids et des chaînes, soit en les remplaçant par des appa-

reils compensateurs, soit en les reportant au-dessous de la cabine et dans l'intérieur du puits ; les autres tendent à supprimer l'obligation de forer un puits à grande profondeur, tantôt en séparant la cabine du piston, qui l'entraîne alors par l'intermédiaire d'un câble passant dans des moufles, tantôt en divisant la tige du piston en plusieurs anneaux, qui forment ensemble une sorte de tube télescopique creux, où l'eau pénètre pour venir exercer sa pression directement au-dessous de la cabine.

Les ascenseurs de tous systèmes doivent toujours être soigneusement guidés sur toute la longueur de leur course et pourvus de taquets d'arrêt correspondant aux divers étages ; ils doivent être munis d'appareils de sûreté, empêchant tout retour d'eau dans la conduite quand il s'y produit un vide relatif, ou s'opposant aux effets que pourrait déterminer la présence de l'air comprimé dans l'appareil, si la conduite vient à en fournir accidentellement à un moment donné.

401. Applications diverses. — Parmi les applications que peut recevoir l'eau des distributions urbaines considérée au point de vue de la production de la force motrice, il en est une que nous avons déjà citée et qui ne manque pas d'intérêt : c'est la manœuvre des robinets vannes de grande dimension.

La balance hydraulique a été employée pour le montage des matériaux destinés à la construction des maisons : les *élévateurs* construits sur ce principe sont peut-être un peu coûteux, mais leur fonctionnement ne laisse rien à désirer. Le principe de la balance étendu aux plans inclinés a trouvé aussi une très heureuse application dans les nombreux *chemins de fer funiculaires* récemment établis en Suisse : l'eau, répandue à peu près partout dans ce pays, sert à remplir une caisse à eau placée sous le wagon qui se trouve au haut de la rampe ; ce poids supplémentaire entraîne l'autre wagon, dont la caisse a été préalablement vidée, et en détermine l'ascension.

De petits moteurs à eau peuvent servir à mettre en mouvement des machines à coudre : on les adapte aussi fort bien aux machines dynamo-électriques pour la production de la lumière ; ils se prêtent en général à toute production de force, où la question de dépense se trouve primée par les considérations relatives à la facilité de l'installation ou à la commodité du service.

CHAPITRE XVI

QUESTIONS LÉGALES ET ADMINISTRATIVES

Sommaire :

§ 1er. *Propriété des eaux.* — 402. Eaux pluviales. — 403. Eaux courantes. — 404. Eaux souterraines. — 405. Sources. — 406. Propriété des sources dans la législation étrangère.
§ 2. *Emploi des eaux pour l'alimentation des villes.* — 407. Bassins de réserve, Drainages. — 408. Prises dans les cours d'eau. — 409. Puits. — 410. Dérivation des sources.
§ 3. *Passage des aqueducs et des conduites d'eau.* — 411. Passage des aqueducs à travers les propriétés privées. — 412. Passage des conduites d'eau sous les voies publiques. — 413. Permissions contradictoires.
§ 4. *Traités de concessions et polices d'abonnement.* — 414. Caractère légal des services d'eau. — 415. Traités de concession. — 416. Polices d'abonnement.
§ 5. *Instruction des projets de distributions d'eau.* — 417. Approbation préfectorale. — 418. Déclaration d'utilité publique. — 419. Une amélioration désirable.

§ 1er

PROPRIÉTÉ DES EAUX

402. Eaux pluviales. — L'eau du ciel est évidemment la propriété de celui qui la reçoit sur son fonds, et il est maître d'en disposer absolument à son gré. Il peut ou l'abandonner à la pente naturelle et la laisser couler vers les fonds inférieurs, ou la recueillir, l'employer, la consommer sur son héritage, en disposer en un mot: il en a, sans aucune restriction, l'*usus* et l'*abusus*.

La même règle s'applique aux ruisselets qui se forment sur son fonds, aux mares et aux étangs créés pour l'emmagasinement des eaux pluviales.

La servitude naturelle d'écoulement, qui frappe les fonds inférieurs, et que consacre l'article 640 de notre Code, ne crée aux propriétaires de ces fonds aucun droit à la jouissance des eaux pluviales tombées sur le fonds supérieur, quand bien même ils les auraient utilisées de temps immémorial et auraient fait des ouvrages à cet effet.

403. Eaux courantes. — Lorsque les eaux, ruisselant à la surface du sol, prennent le caractère d'*eaux courantes*, et forment un ruisseau, qui traverse ou borde un certain nombre de propriétés, elles cessent d'appartenir à un seul et même propriétaire ; elles deviennent alors *chose commune*, et tous les riverains peuvent en user.

Mais le droit de chacun a pour limite celui de ses voisins ; et le Code civil oblige le propriétaire, dont un cours d'eau traverse l'héritage, à rendre les eaux à leur cours ordinaire avant la sortie de son fonds (art. 644). A cette condition, il peut les utiliser, s'en servir pour l'irrigation de ses terres par exemple ou pour tout autre usage analogue. Pour en assurer l'observation, l'Administration intervient et réglemente l'usage des eaux courantes : son droit à cet égard est reconnu par le Code civil qui mentionne (art. 645) les *règlements* particuliers et locaux et en prescrit l'observation.

C'est cette jurisprudence qui a été adoptée par le Sénat, et qu'il a consacrée en termes parfaitement explicites, dans le projet de loi sur le régime des eaux voté par cette assemblée le 25 octobre 1883.

404. Eaux souterraines.— Le propriétaire du sol a incontestablement un droit absolu à la recherche des eaux souterraines dans son fonds. Ce n'est pas autre chose en effet qu'une des conséquences du droit de fouille, nettement reconnu par l'article 552 du Code civil. La propriété de la surface entraîne celle du dessous, et le maître d'un héritage peut y faire toutes les fouilles qu'il juge à propos, et en tirer tous les produits qu'elles sont susceptibles de fournir.

Ainsi donc le propriétaire du sol peut creuser des puits, épuiser les nappes souterraines jusqu'à tarir les puits de ses voisins, sans s'exposer à être recherché utilement par eux. Il peut aussi couper impunément les veines liquides passant dans son fonds et qui alimentent une source émergeant dans le terrain d'un propriétaire voisin. A ce droit absolu il n'y a qu'une restriction, résidant dans la nature des choses : le propriétaire n'use valablement de son droit que s'il le fait pour son utilité ; il n'en serait plus de même s'il l'exerçait uniquement dans l'intention de nuire à son voisin, et ce dernier aurait alors l'action de dol contre lui, car « on ne doit jamais favoriser la malveillance ni en supporter les « effets [1] ».

C'est à titre de conséquence de ce droit que la jurisprudence a toujours admis, au profit du propriétaire du fonds supérieur, une servitude d'écoulement sur les fonds inférieurs, dans le cas où il a créé par des travaux exécutés dans l'étendue de son héritage, par le creusement d'un puits artésien notamment, une source artificielle. Le projet de loi adopté par le Sénat consacre expressément, par une de ses dispositions, cette décision de la jurisprudence.

1. Proudhon.

Le propriétaire peut évidemment restreindre lui-même son droit : rien ne l'empêche par exemple, lorsqu'il vend une partie de son fonds, de stipuler qu'il vend en même temps une source ou un puits qui s'y trouve, ou même les eaux souterraines, et de s'interdire expressément d'y porter atteinte désormais par des travaux de fouille exécutés sur la partie qu'il conserve en sa possession. En l'absence même d'une clause spéciale, le fait seul d'avoir mentionné dans l'acte de vente la source ou le puits permettrait à l'acheteur d'exercer un recours contre le vendeur, si ce dernier venait ultérieurement à en restreindre le débit par l'ouverture d'une tranchée ou l'exécution de tout autre ouvrage sur son fonds.

D'autre part, une loi spéciale, celle du 14 juillet 1856, relative aux sources d'eaux minérales, a édicté une restriction du droit de fouille des propriétaires, en créant, pour celles de ces sources qui seraient déclarées d'utilité publique, un *périmètre de protection*. Dans l'intérieur du périmètre, qui doit être déterminé dans chaque cas par un décret, et peut être modifié par un autre décret, aucun sondage ou travail souterrain ne peut être entrepris sans autorisation, et les tranchées pour fondations de bâtiments ou extractions de matériaux donnent lieu à une déclaration préalable. Le préfet du département peut même, à la demande du propriétaire de la source, suspendre provisoirement tous travaux souterrains en dehors du périmètre, s'ils sont de nature à causer une diminution ou une altération de la source, à la condition qu'il soit statué dans le délai de six mois sur l'extension du périmètre.

Il serait à désirer que ces dispositions tutélaires fussent étendues à la protection des eaux captées pour l'alimentation des villes, qui devraient être aussi mises à l'abri des détournements et des contaminations possibles. D'anciennes ordonnances ont bien été rendues en faveur de certaines eaux déterminées servant à l'alimentation de Paris, de Montpellier, de Rouen. Et, tout récemment (28 juillet 1880), une loi, modifiant l'article 50 de la loi de 1810 sur les mines, a stipulé que, si les travaux de recherche ou d'exploitation d'une mine sont de nature à compromettre la conservation des eaux minérales « ou l'usage des sources qui « alimentent des villes, villages, hameaux et établissements publics », il y sera pourvu par le Préfet. Mais rien n'a été fait en dehors de ces cas spéciaux, et c'est à coup sûr une des lacunes que la nouvelle législation sur le régime des eaux aurait à combler.

405. Sources. — Conformément à la doctrine du droit romain, notre Code attribue la pleine propriété des sources au propriétaire du sol, qui peut, d'après l'article 641, en « user à sa volonté ».

Là encore le droit est absolu, comme pour les eaux souterraines. Et il n'éprouve de restriction, que si le propriétaire d'un fonds inférieur a obtenu par *titre* ou *prescription* un droit de jouissance sur les eaux de la source, ou si les habitants d'une commune, d'un village ou d'un hameau en tirent l'eau nécessaire à leur alimentation (art. 643). Dans ce dernier

cas, le propriétaire ne peut plus détourner l'eau de la source de son cours naturel, mais il a la faculté de réclamer à la commune une indemnité, si les habitants n'en ont pas acquis ou prescrit l'usage. On entend d'ailleurs par titre une convention, un contrat, par lequel le maître de la source a consenti l'établissement d'une servitude sur les eaux ; la Cour de cassation considère aussi comme un titre la *destination du père de famille* résultant d'un rapport de dépendance établi entre deux héritages par le propriétaire commun, de telle sorte qu'il en résulte une servitude continue et apparente sur l'un au profit de l'autre. Quant à la prescription, elle s'acquiert par une jouissance paisible et ininterrompue de trente années, à compter du jour où le propriétaire du fonds inférieur a fait et terminé des ouvrages apparents destinés à faciliter la chute et le cours de l'eau dans sa propriété (art. 642) ; d'après la jurisprudence, ces ouvrages doivent avoir été établis par le propriétaire inférieur non pas sur son propre fonds, mais sur celui même où jaillit la source, et le projet de loi, adopté par le Sénat, consacre la même interprétation.

Ces diverses dispositions légales, relatives à la propriété des sources, ont donné lieu, depuis un certain nombre d'années, à des discussions extrêmement vives à l'occasion du détournement des eaux de source destinées à l'alimentation des villes. Le législateur de 1803 ne paraît pas avoir prévu le cas, et, par suite, certaines personnes, parmi lesquelles Proudhon et Nadault de Buffon, ont soutenu avec beaucoup de force que, s'il a reconnu au propriétaire le droit d'user de la source et d'en abuser, ce ne pouvait être néanmoins au point de lui permettre de l'enlever à son cours naturel et de la conduire au loin pour le profit d'une collectivité étrangère à la région. Mais la loi est formelle ; et, quelque peine qu'on ait prise pour la torturer, on n'est pas parvenu à lui faire dire autre chose que ce qu'elle a expressément déclaré, à savoir que le propriétaire du fonds est propriétaire de la source : dès lors, rien ne peut l'empêcher de la vendre, et l'acheteur, qui en devient à son tour maître absolu, peut la détourner, sans avoir à se préoccuper des conséquences qui en résulteront pour les propriétaires des fonds inférieurs. Cette doctrine a été uniformément consacrée par tous les arrêts que la Cour suprême a eu à rendre sur la matière.

On la retrouve encore dans le projet de loi adopté par le Sénat, dont l'article premier, plus explicite encore que l'article 641 du Code civil, porte que le propriétaire peut « user et disposer » des sources nées sur son fonds. Il est vrai que ce même projet de loi apporte en même temps une restriction grave au droit du propriétaire : dans le cas où les eaux de la source forment, à la sortie du fonds où elles surgissent, un cours d'eau offrant le caractère d'eaux publiques et courantes, le maître de la source ne peut plus les détourner de leur cours naturel au préjudice des usagers inférieurs. Si une ville, ayant acquis une source dont les eaux se trouvent dans ce cas, se propose de la dériver, il faudra donc

qu'elle obtienne préalablement une déclaration d'utilité publique et procède comme en matière d'expropriation. D'avance, Belgrand a critiqué cette disposition, dont il était déjà question lorsqu'il écrivait son ouvrage : pour lui, obliger une ville à indemniser tous les usagers, en l'absence de droits acquis par titre ou prescription, avant de lui permettre de dériver les eaux d'une source, ce serait « retirer les sources « de la consommation domestique ». Et il ajoutait : « Lorsque toutes nos « rivières seront gâtées par l'industrie, comme le sont les rivières an- « glaises ou la Seine en aval de Paris, on se demande quel sera le « liquide réservé pour les usages domestiques... J'espère qu'il ne se trou- « vera pas une administration assez absurde pour nous imposer une « pareille loi [1]. »

406. Propriété des sources dans la législation étrangère. — Le principe inscrit à l'article 641 de notre Code se retrouve à peu près partout dans la législation étrangère ; la source appartient toujours au propriétaire du fonds où elle émerge, et le propriétaire inférieur est tenu d'en recevoir les eaux. En Allemagne, en Italie, en Espagne, le principe est inscrit dans la loi même. Dans d'autres pays, il n'y a pas de texte analogue; mais la jurisprudence y supplée en appliquant encore la même règle.

Certaines lois accordent formellement au propriétaire de la source le droit de la détourner, la loi russe par exemple ; et il peut même imposer à un quelconque de ses voisins, et non plus seulement au propriétaire inférieur, la servitude d'aqueduc. La loi autrichienne était dans le même cas il y a quelques années ; mais une nouvelle disposition, qui remonte au 28 août 1870, oblige maintenant le propriétaire d'une source à indemniser tous les intérêts lésés, s'il vient à en détourner les eaux de leur cours naturel, et la jurisprudence a étendu cette obligation au cas du détournement des eaux d'une nappe souterraine.

La prescription ne s'acquiert pas, à ce sujet, de la même manière dans les divers pays. Tantôt il faut des ouvrages apparents sur le fonds supérieur, tantôt il suffit qu'ils aient été établis sur le fonds inférieur, tantôt enfin, en Espagne par exemple, l'existence d'un ouvrage quelconque n'est même pas indispensable. Mêmes divergences en ce qui concerne le délai nécessaire : d'après la loi espagnole vingt années suffisent, tandis qu'il en faut trente d'après le code italien, et à la condition expresse que des ouvrages aient été construits sur le fonds où jaillit la source par le propriétaire du fonds inférieur.

1. *La Seine*, p. 423.

§ 2.

EMPLOI DES EAUX POUR L'ALIMENTATION DES VILLES

407. Bassins de réserve, Drainages. — Les eaux pluviales, comme on l'a vu au paragraphe précédent, appartiennent au propriétaire du sol sur lequel elles sont tombées. On en tire cette conséquence que, si l'on veut utiliser les eaux de pluie pour l'alimentation d'une ville, il doit suffire d'acquérir le terrain où elles seront recueillies, ou même d'obtenir une simple permission du propriétaire de ce terrain.

La création d'un bassin de réserve, pour l'établissement d'une digue en travers d'une vallée, n'est en somme qu'un moyen d'arrêter au passage et d'emmagasiner les eaux pluviales, puisque l'effet du barrage sera de recueillir l'eau qui ruisselle à la superficie du sol en amont de la digue. Dès lors, pour avoir le droit de procéder à l'exécution d'un travail de ce genre, il n'y a qu'à se rendre maître du sol sur lequel la digue sera établie et des terrains qui seront noyés sous la nappe d'eau retenue derrière la digue. Mais si les eaux, que le barrage doit servir à emmagasiner, forment déjà un petit cours d'eau dans le thalweg de la vallée, si des moulins ou des vannes d'irrigation existent sur le cours d'eau en aval, la situation se modifie; les riverains lésés peuvent, sinon empêcher la construction de la digue, du moins réclamer une indemnité en réparation du préjudice qu'elle leur causera. Et, pour éviter l'allocation de cette indemnité, il faudrait disposer la retenue de manière à former bassin de compensation, c'est-à-dire à garantir au cours d'eau son débit normal, le seul que puissent utiliser les usagers, et à n'emmagasiner que le surplus en temps de crue.

Le drainage est également un moyen de recueillir une partie des eaux pluviales tombées sur un terrain donné; et le propriétaire du terrain, en pratiquant cette opération, exerce un droit absolu qui ne saurait lui être contesté en aucun cas.

408. Prises dans les cours d'eau. — Au contraire, les eaux courantes n'appartenant pas au propriétaire du sol, les règles applicables aux prises faites sur les cours d'eau sont bien différentes.

Si le cours d'eau n'est point navigable ni flottable, la seule qualité de riverain suffit bien pour y pratiquer une prise; mais, comme la loi oblige le riverain à restituer à son cours naturel, dès la sortie de son fonds, l'eau qu'il a ainsi empruntée, une autorisation administrative devient nécessaire pour en disposer au détriment des usagers inférieurs. Le préfet du département peut accorder une *permission* à cet effet, mais il ne le fait généralement que sous la réserve des droits des tiers, ce qui implique l'obligation d'indemniser les intéressés en cas de détournement

des eaux. Le droit à indemnité ne prend néanmoins naissance que lorsque le dommage est réel, actuel et matériel ; et l'expropriation, par une ville, d'une parcelle de terrain en bordure d'un cours d'eau, sur lequel elle se propose de faire une prise, ne donne pas à elle seule ouverture à ce droit, tant que la prise n'est point faite et ne fournit pas d'eau. Un pareil dommage rentre d'ailleurs dans la catégorie de ceux dont la loi du 28 pluviôse an VIII a réservé la connaissance aux conseils de Préfecture. L'appréciation du préjudice causé est assez facile quand il s'agit d'usines : on évalue la perte de force motrice qu'elles éprouvent, et on attribue aux usiniers les sommes nécessaires pour remplacer la force hydraulique perdue par l'emploi de la vapeur, c'est-à-dire le montant des frais d'établissement d'un nouveau moteur et la capitalisation des frais annuels supplémentaires d'exploitation. Pour les irrigations, l'estimation à faire est plus délicate, car il est assez malaisé de déterminer exactement la quantité d'eau qu'il peut être utile d'y consacrer ; cette quantité varie avec les localités et les modes de culture ; et, dans les pays où l'eau est abondante, on a généralement pris l'habitude de la prodiguer à tel point qu'une réduction même assez importante peut être faite dans les débits sans causer aucun préjudice véritable ; une étude spéciale est indispensable dans chaque cas particulier.

Quand le cours d'eau est navigable ou flottable, la qualité de riverain ne donne plus aucun droit à la jouissance de l'eau ; et, pour quelque usage que ce soit, personne n'y peut pratiquer de prise sans une autorisation administrative préalable. D'autre part, la possession d'une parcelle de terrain sur la rive n'est plus une condition nécessaire ; et le propriétaire d'un fonds situé à une certaine distance peut fort bien obtenir l'autorisation de faire une prise pour amener l'eau dans sa propriété, en profitant de l'existence d'une voie publique sous laquelle il établira sa conduite. L'acte administratif, qui intervient alors, met ordinairement à l'exécution de l'ouvrage certaines conditions, dictées par l'intérêt de la navigation fluviale ; il en fixe l'emplacement, en prescrit les dispositions générales, et oblige parfois à le signaler le jour par un voyant fixe ou une bouée et la nuit par un feu rouge, etc. Il peut y avoir encore lieu à l'allocation d'indemnités en réparation des dommages causés par la prise d'eau ; mais le plus souvent le préjudice est nul, car il est rare, sur les cours d'eau de cette catégorie, que tout le débit soit utilisé pour la production de force motrice ou pour les irrigations.

Les prises d'eau sur les lacs peuvent être assimilées à celles faites sur les cours d'eau navigables, quand il s'agit de nappes d'eau étendues, bordées par un certain nombre de propriétés distinctes et faisant partie du domaine public ; à moins d'usages locaux particuliers, une autorisation est encore nécessaire. Il n'en est pas ainsi évidemment lorsque le lac dans lequel il y a lieu de faire une prise est entièrement compris dans l'enceinte d'une propriété privée ; le propriétaire peut alors en

disposer entièrement à son gré, comme d'une mare ou d'un étang, et l'administration n'a plus à intervenir, sauf l'application des règles concernant les eaux courantes si le lac n'est que l'épanouissement d'un cours d'eau à la traversée d'une dépression naturelle.

409. Puits. — Pour avoir le droit d'emprunter l'eau nécessaire à l'alimentation d'une ville soit à une nappe voisine du sol, soit à une nappe profonde ou artésienne, il suffit d'avoir acquis la propriété du sol à l'emplacement du puits qu'on se propose de creuser. Et si, le travail terminé, la quantité d'eau fournie par le puits se trouve être telle qu'il en résulte un abaissement du niveau de la nappe, si les puits voisins sont taris ou n'ont plus qu'un débit réduit, les intéressés n'auront aucun recours contre la ville devant les tribunaux ordinaires. Elle aura, en effet, usé purement et simplement de son droit.

Il en serait d'ailleurs exactement de même, si le puits avait été creusé non plus sur un terrain appartenant à la ville en toute propriété, mais sur une parcelle faisant partie du domaine national ou départemental, en vertu d'une autorisation régulière.

Les tribunaux administratifs, saisis de la question, considéreraient peut-être le creusement d'un puits pour l'alimentation d'une ville comme un travail public, et pourraient en conséquence allouer aux voisins lésés une indemnité en réparation du dommage direct et matériel éprouvé par eux. Il y a des décisions dans ce sens. Mais la jurisprudence n'est pas absolument fixée, et l'on serait fondé à soutenir qu'en pareil cas une ville, devenue propriétaire d'un terrain, peut exercer sur ce terrain les mêmes droits qu'un particulier.

410. Dérivation des sources. — Ce principe est admis sans conteste pour les sources. Quand une ville s'est rendue amiablement propriétaire d'un terrain sur lequel émerge une source libre de toute servitude, rien ne l'empêche de la dériver pour son usage, comme le ferait tout autre propriétaire du même terrain. La jurisprudence de la Cour suprême est formelle sur ce point; elle n'a pas admis de restriction au droit absolu expressément inscrit dans la loi et a toujours repoussé les réclamations des usagers inférieurs. Les tribunaux administratifs, de leur côté, n'ont pas cru pouvoir intervenir ; le conseil d'État a même consacré dans plusieurs arrêts la doctrine de la Cour de cassation.

Mais, lorsque, pour l'exécution des travaux de dérivation, les villes sont obligées de recourir à l'expropriation et de solliciter à cet effet un décret déclaratif d'utilité publique, l'usage s'est introduit de leur imposer par un article du décret l'obligation d'indemniser les propriétaires des fonds inférieurs qui subiraient un préjudice par le fait de la dérivation. Il est clair, d'ailleurs, que, dans ce cas, l'opération perd son caractère privé et devient incontestablement un travail public, ressortissant aux tribunaux administratifs, et pouvant donner lieu par suite à un recours devant ces tribunaux, si elle a pour conséquence des dommages

directs et matériels causés à des propriétés particulières. C'est la ville de Paris qui, en offrant d'indemniser les usagers des eaux des sources de la Dhuis et de la Vanne, a pour ainsi dire créé cette jurisprudence, que le conseil d'État s'est appropriée, et dont il a été fait depuis un certain nombre d'applications.

L'expropriation des sources elles-mêmes est-elle possible dans l'état actuel de notre législation? Rien ne semble s'y opposer : les sources sont une propriété qu'aucun caractère ne distingue des autres et qui doit subir la loi commune. Aussi plusieurs villes, entre autres Dijon, Auxerre, Lorient, Metz, Saint-Etienne, ont-elles obtenu de 1837 à 1861 des ordonnances ou des décrets déclaratifs d'utilité publique, les autorisant expressément à exproprier les sources aussi bien que les terrains et bâtiments nécessaires à l'exécution des travaux de dérivation projetés par elles. La ville de Paris, afin de ne s'exposer à aucune difficulté de ce chef, prit le parti d'acheter à l'amiable les sources de la Dhuis et de la Vanne, et de ne solliciter que pour l'aqueduc proprement dit la déclaration d'utilité publique, tout en admettant néanmoins le principe de l'indemnité en faveur des usagers des eaux dérivées. D'autres villes ont suivi cet exemple; mais quelques-unes ont entendu alors se prévaloir de l'article 641 du Code civil pour refuser toute indemnité aux usagers.

Cette conséquence rigoureuse de la loi actuelle a soulevé à plusieurs reprises de très vives protestations; et, pour les éviter à l'avenir, le gouvernement a cru devoir insérer dans le projet de loi sur le régime des eaux une disposition nouvelle, modificative de l'article 641 du Code civil, et qui défend de détourner les sources au préjudice des usagers inférieurs. Le même projet apportait, il est vrai, à cette disposition si grave au point de vue de l'alimentation des villes, un correctif fort important, puisque, dans des articles subséquents (111, 112, 113), il stipulait formellement pour les communes le droit d'exproprier les immeubles contenant les eaux nécessaires aux usages de leurs habitants, ainsi que les servitudes constituées sur ces eaux, sous la condition d'indemniser tous autres propriétaires se servant desdites eaux à un titre quelconque, soit pour la mise en mouvement des usines, soit pour les irrigations, soit pour tous autres usages. Les indemnités devaient d'ailleurs être réglées comme en matière de dommages résultant de l'exécution des travaux publics. On peut dire que c'était la consécration formelle des errements inaugurés par la ville de Paris, avec une largeur de vues très remarquable, pour l'exécution de ses grandes dérivations. Mais le Sénat, en détachant du projet de loi du gouvernement les quatre premiers titres qui ont été votés séparément, se trouve avoir fixé le nouveau principe et proscrit le détournement des sources, sans y avoir apporté le correctif nécessaire inséré dans un des titres suivants, celui relatif aux *eaux utiles*, en faveur des habitants des agglomérations urbaines. Si le texte, ainsi tronqué, venait à recevoir définitivement

force de loi, on voit qu'il en résulterait une conséquence absolument fâcheuse, contre laquelle Belgrand s'élevait d'avance avec beaucoup de raison, et qui mettrait les villes dans l'impossibilité de se procurer l'eau de source pour leur alimentation, au moment même où les hygiénistes sont amenés à en préconiser l'usage à peu près partout. L'attention du législateur devrait être appelée en temps utile sur les inconvénients graves d'une pareille disposition, car il importe de ne pas en venir là.

§ 3.

PASSAGE DES AQUEDUCS ET DES CONDUITES D'EAU

411. Passage des aqueducs à travers les propriétés privées. — Pour dériver les eaux empruntées à un cours d'eau ou à une source vers l'agglomération qu'elles doivent alimenter, il est souvent nécessaire de passer à travers un certain nombre de propriétés privées et d'y établir un aqueduc ouvert ou fermé. La loi française ne donne à cet égard aucun droit au propriétaire de la source ou du fonds supérieur; celui-ci est dès lors obligé d'acquérir par voie amiable la propriété des parcelles empruntées par l'ouvrage ou tout au moins la servitude dite d'aqueduc, servitude continue et apparente, qui subsiste par le fait de l'existence de la rigole ou du tuyau quand bien même l'eau n'y coulerait pas d'une façon continue.

Les villes peuvent obtenir une déclaration d'utilité publique et procéder à ces acquisitions par voie d'expropriation.

Souvent elles se contentent d'acheter la servitude d'aqueduc ou le tréfonds, en laissant aux anciens propriétaires soit la propriété du fonds frappé de servitude, soit de la superficie seulement. Ce mode de procéder est peu recommandable, car il est susceptible de créer dans l'avenir de grosses difficultés; et si, pour les prévenir, on veut imposer, outre la servitude d'aqueduc proprement dite, celle de passage, interdire toute clôture et toute construction, les indemnités à payer s'élèvent au point d'atteindre à très peu près la valeur du terrain. Il vaut mieux sans aucun doute acheter l'emprise, toutes les fois que les circonstances s'y prêtent; et c'est seulement dans des cas spéciaux, par exemple à la traversée d'une grande propriété d'agrément ou d'une vaste prairie irriguée, qu'on devra renoncer à l'acquisition de la bande de terrain occupée par l'aqueduc et se contenter d'une servitude, afin d'éviter le payement d'une énorme indemnité de dépréciation. Même alors, il convient de réserver expressément la faculté d'exercer sur l'aqueduc une surveillance constante et d'y effectuer au besoin des réparations.

Quelque petites que soient les dimensions de l'aqueduc, il faut don-

ner à l'emprise une largeur de deux mètres au moins, afin de pouvoir y pratiquer une fouille et déposer à côté les terres extraites. On peut trouver avantage à l'élargir; mais, dans la plupart des cas, il serait inutile de dépasser cinq mètres. Cependant la ville de Paris s'est rendue propriétaire d'une bande continue de dix mètres de largeur pour le passage de ses grands aqueducs, et cette largeur eût pu être utilement augmentée à la traversée des vallées, où il serait bon d'écarter l'une de l'autre les deux grosses conduites formant siphon.

412. Passage des conduites d'eau sous les voies publiques. — Les conduites de distribution proprement dites sont généralement posées sous les voies publiques ; ces voies sont parfois empruntées pour l'exécution de certains tronçons d'aqueducs, et notamment pour les conduites forcées.

Il ne peut plus être alors question d'acquérir la propriété du sol, qui est inaliénable, ni même d'y créer une servitude. La pose des conduites se fait en vertu d'une *permission de voirie*, c'est-à-dire d'une autorisation délivrée par l'autorité compétente, le maire quand il s'agit de voies communales, le préfet pour les chemins de grande communication et les routes nationales et départementales.

Les permissions de voirie sont essentiellement précaires, et révocables sans indemnité si l'administration juge qu'il y va de l'intérêt public. Celles qui sont relatives aux routes, ou à la *grande voirie*, sont soumises en outre à des conditions générales, fixées par l'arrêté réglementaire adressé aux préfets des départements par le ministre des travaux publics le 20 septembre 1858, et portant sur le mode d'exécution et de remblaiement des tranchées, le rétablissement et l'entretien des chaussées, etc. Il n'y a pas de réglementation analogue pour la petite voirie, et les maires peuvent mettre à la délivrance des permissions de ce genre telles conditions qu'ils jugent à propos, les accorder à titre gratuit, moyennant une redevance pour occupation du sol ou la fourniture d'une certaine quantité d'eau, la pose de quelques appareils, etc. ; ils peuvent même accorder à ce sujet des *concessions*, par lesquelles ils octroient à certaines personnes la faculté exclusive de poser et de maintenir pendant un temps déterminé des conduites d'eau sous le sol des voies communales, renonçant ainsi à se prévaloir contre elles du principe de la précarité, et leur constituant un droit conventionnel, dont elles ne peuvent plus être dépouillées sans indemnité : les *traités de concession* doivent être soumis à l'administration supérieure et approuvés par elle, tandis que les simples permissions sont accordées directement par les maires dans la plénitude de leur droit.

La déclaration d'utilité publique dispense celui qui l'a obtenue de demander des permissions de voirie, et emporte la faculté d'exécuter les ouvrages nécessaires sous les voies publiques de toute catégorie.

En cette matière, les contestations relèvent des tribunaux administra-

tifs. Cependant les contraventions constatées sur des voies communales sont déférées aux tribunaux de simple police, excepté à Paris, où toutes les rues font partie de la grande voirie.

413. Permissions contradictoires. — Il est de règle que les permissions de voirie ne doivent constituer pour personne d'avantage exclusif, et elles sont accordées ordinairement à tout pétitionnaire dont la demande paraît justifiée par un besoin réel, pourvu qu'aucun motif d'intérêt public ne s'y oppose.

Mais, lorsqu'une ville a entrepris l'établissement d'une distribution d'eau pour le service des rues et des habitants, elle refuse presque toujours à d'autres l'autorisation de poser des conduites d'eau sous ses propres voies, afin de se réserver la totalité du revenu que cette installation peut lui procurer. Il en est encore ainsi quand elle a passé un traité de concession par lequel, en consentant à une société ou à un particulier un privilège pour la pose des conduites d'eau, elle a obtenu pour elle-même des avantages particuliers.

L'effet d'une pareille convention ne peut manifestement pas s'étendre aux voies qui relèvent du département ou de l'État, et le préfet conserve, malgré l'existence d'un traité de concession conclu par le maire d'une commune, le droit d'accorder à une personne autre que le concessionnaire la permission de placer des conduites d'eau sous les chemins de grande communication et les routes départementales et nationales qui passent sur le territoire de cette commune.

Récemment quelques difficultés se sont élevées dans plusieurs villes par suite de la stricte application de ces principes. Des particuliers ayant demandé aux préfets et obtenu d'eux la permission de poser des conduites sous les routes, dans la traversée de ces villes, en ont profité pour faire une concurrence acharnée aux concessionnaires nantis d'un traité avec la municipalité, et cela précisément dans les quartiers les plus peuplés et les plus riches, les privant ainsi d'une partie notable des bénéfices sur lesquels ils avaient dû compter. Ce résultat, qui blessait l'équité, a provoqué de légitimes réclamations, et une circulaire du ministre des travaux publics, en date du 22 juin 1882, a invité les préfets à n'accorder désormais qu'avec la plus grande circonspection les permissions de ce genre, réservant même à l'administration supérieure la connaissance des demandes présentées par des concurrents des sociétés concessionnaires, après avis des ingénieurs et délibération du conseil municipal intéressé.

§ 4.

TRAITÉS DE CONCESSION ET POLICES D'ABONNEMENT

414. Caractère légal des services d'eau. — Les services d'eau urbains, quand ils sont exploités par les municipalités, doivent être considérés

comme de véritables services publics. C'est, en effet, avant tout dans l'intérêt de la salubrité et de l'assainissement général qu'ils sont alors créés : la vente de l'eau n'y est que l'accessoire et non le but. Dès lors, tous les ouvrages qui en dépendent font partie du domaine public municipal et sont placés à ce titre sous la sauvegarde des lois et règlements qui le régissent. A Paris, en vertu d'anciens édits royaux et du décret organique du 4 septembre 1807, le service des eaux fait même partie de la grande voirie.

De là découlent ces conséquences, que les contestations entre les municipalités et les particuliers au sujet de la distribution de l'eau sont du ressort des tribunaux administratifs, et que les villes ne sauraient être frappées de la *patente*, comme de simples commerçants pour qui la distribution de l'eau ne serait autre chose qu'une source de bénéfices.

La situation est différente quand les villes abandonnent l'établissement des services d'eau à des concessionnaires, qui se chargent d'exécuter les ouvrages et d'assurer l'exploitation, à la condition de couvrir leurs dépenses au moyen du produit de la vente de l'eau. Le traité passé à cet effet entre une ville et un concessionnaire est un marché de travaux publics, soumis à la formalité de l'enregistrement, et toutes les contestations qui y sont relatives sont portées devant les tribunaux administratifs. Mais ces tribunaux sont incompétents pour connaître d'un litige quelconque entre les particuliers et le concessionnaire. Ce dernier n'est cependant pas considéré comme un commerçant, relevant de la juridiction consulaire, et, bien qu'il soit astreint à la patente, son entreprise est une affaire purement civile ressortissant aux tribunaux ordinaires.

415. Traités de concession. — Les traités de concession concernant les services d'eau urbains peuvent être d'ailleurs de diverse nature.

Le plus souvent la ville stipule que tous les ouvrages seront exécutés par le concessionnaire et à ses frais, qu'il en conservera l'entretien pendant un nombre d'années déterminé, à l'expiration desquelles il devra, ou les faire disparaître, ou les remettre, soit en totalité, soit pour partie seulement, à la municipalité, à titre gratuit ou à dire d'experts. En outre, le concessionnaire s'engage presque toujours à fournir à la ville pour les besoins publics une certaine quantité d'eau gratuitement ou à prix réduit. Par compensation, il reçoit : 1° la faculté de vendre l'eau aux particuliers, conformément à un tarif inséré au traité de concession ; 2° le droit exclusif de poser des conduites d'eau sous les voies publiques communales. A ces clauses essentielles viennent s'adjoindre des stipulations accessoires relatives à l'expropriation des terrains nécessaires, à l'exécution des travaux de pose des conduites et appareils, à celle des prises et branchements, aux prolongements de conduites, à la police de la distribution d'eau, etc.

D'autres fois, la convention ne consacre qu'un affermage : le service

d'eau, établi par la ville elle-même, demeure sa propriété ; mais un contrat d'exploitation intervient entre elle et un concessionnaire, qui en assure l'entretien, se charge de tous les frais annuels, prend l'engagement de faire certains travaux complémentaires, etc., moyennant la cession du produit de la vente de l'eau pendant une période plus ou moins longue.

La combinaison adoptée à Paris, et qui a été déjà mentionnée à un chapitre précédent [1], diffère encore du contrat d'affermage, puisque la ville s'est réservé l'exploitation proprement dite, alimentation et distribution, et n'a laissé au concessionnaire que le soin de la partie financière, moyennant l'abandon d'une prime sur les recettes.

Quel que soit le type du contrat, il convient de ne pas oublier qu'il a surtout pour objet d'assurer un service public de première nécessité, et l'on ne saurait, en conséquence, l'entourer de trop de garanties, cautionnement, déchéance, rachat éventuel, possibilité de revision des tarifs, etc.

Dans la plupart des cas, les traités de concession sont passés de gré à gré. Mais parfois on a eu recours à des adjudications publiques ou restreintes, de manière à provoquer plusieurs offres et à choisir la plus avantageuse, soit au point de vue du prix de l'eau à fixer par le tarif, soit à celui de la durée de la concession, soit enfin d'après l'importance de la subvention réclamée ou de la contribution proposée pour l'exécution des travaux.

416. Polices d'abonnement. — Le contrat d'abonnement, consacré par un acte auquel on donne usuellement le nom de *police,* n'a pas le même caractère lorsque les villes exploitent elles-mêmes que si elles ont traité avec des concessionnaires.

Dans le premier cas, la police est un acte administratif, accordant à l'abonné une *concession* d'eau : ce mot, qui est depuis bien longtemps dans la pratique, est alors pris dans son acception littérale et donne une idée parfaitement exacte des rapports qui s'établissent entre les deux parties contractantes. En sa qualité d'acte administratif, la police doit alors être nécessairement soumise à la formalité de l'enregistrement, et toutes les contestations qui en peuvent être la conséquence ressortissent aux seuls tribunaux administratifs.

Dans le second cas, au contraire, c'est un acte entre particuliers, qui peut être dressé sous seing privé, dont l'enregistrement n'est pas obligatoire dans un délai déterminé, et qu'il suffira de soumettre à cette formalité le jour où il pourra devenir nécessaire de le produire en justice : les tribunaux ordinaires sont compétents pour en connaître. Il n'y a pas, d'ailleurs, à distinguer entre un concessionnaire, chargé de l'ensemble du service ou seulement de l'exploitation, et un régisseur intéressé : le particulier, qui s'abonne, traite non pas avec la ville, mais avec un autre

1. Chapitre XIV, n° 343.

particulier, et c'est ce dernier seul qui se trouve lié vis-à-vis de l'administration.

La forme de la police est presque toujours arrêtée d'avance, de manière à ce que, dans un même service, il n'y en ait que d'un seul type ou tout au plus d'un petit nombre de types distincts. On a soin d'y viser expressément le règlement et le tarif, afin que la signature apposée par l'abonné emporte acceptation de l'un et de l'autre, et que ces deux documents se trouvent par là même faire partie intégrante de la convention.

Le tuyau d'embranchement, qui relie la conduite publique à la canalisation intérieure de l'immeuble alimenté, est généralement posé aux frais de l'abonné et lui appartient. Il est soumis, par suite, aux règles de police et de compétence applicables aux ouvrages privés exécutés sur le domaine public en vertu d'une permission de l'autorité compétente. En l'espèce, cette permission résulte du traité de concession, quand il y en a un, ou de la police même, quand l'exploitation est faite par la ville en régie.

§ 5.

INSTRUCTION DES PROJETS DE DISTRIBUTIONS D'EAU

417. Approbation préfectorale. — Aucun service d'eau ne peut être créé sans que le projet correspondant ait donné lieu à une instruction administrative préalable.

Les projets qui ne soulèvent aucune difficulté, n'entraînent point d'expropriations, n'exigent pas la création de ressources extraordinaires, sont approuvés simplement par le préfet du département. Le préfet peut, d'ailleurs, accorder les permissions nécessaires pour les prises d'eau en rivière, la pose des conduites sous les chemins de grande communication et les routes départementales et nationales. Il examine et sanctionne les traités passés entre les communes et les concessionnaires.

Le plus souvent, le préfet consulte, au cours de l'instruction, les ingénieurs — au point de vue technique — et le conseil d'hygiène du département — au point de vue médical et sanitaire.

Le dossier qui lui est transmis doit contenir, en conséquence, toutes les pièces nécessaires pour une instruction complète : mémoire justificatif, plans détaillés des ouvrages, analyses des eaux, estimation des dépenses, exposé des voies et moyens, texte des traités de concession, extrait des délibérations du conseil municipal.

418. Déclaration d'utilité publique. — Lorsque les ouvrages projetés doivent être exécutés en totalité ou en partie sur des terrains appartenant à des particuliers, en empruntant le territoire de plusieurs com-

munes, et qu'une entente préalable n'a pu avoir lieu, une *déclaration d'utilité publique* devient nécessaire.

L'approbation préfectorale ne suffit plus alors; et c'est un décret du Président de la République, rendu après avis du conseil d'État, qu'il faut obtenir en vue de poursuivre l'expropriation. On pense même qu'une loi seule peut autoriser désormais les travaux qui touchent aux intérêts d'une contrée de quelque étendue, comme les nouvelles dérivations de sources que prépare en ce moment la Ville de Paris.

Le dossier n'en doit pas moins être constitué comme on l'a indiqué plus haut, et envoyé au Préfet du département; mais ce fonctionnaire, après une première instruction et les enquêtes réglementaires, transmet le dossier à l'administration supérieure, en y joignant son avis motivé.

C'est le ministère de l'intérieur qui examine l'affaire au point de vue administratif proprement dit. S'il y a quelques doutes sur la valeur technique du projet, ou si les ouvrages ont une importance un peu considérable, le dossier passe au ministère des travaux publics, qui le soumet à l'appréciation du conseil général des ponts et chaussées. Le comité consultatif d'hygiène de France doit être nécessairement consulté; comme il relève du ministère du commerce, ce ministère reçoit aussi communication du projet. Enfin un quatrième département ministériel, celui de l'agriculture, se trouve aussi amené à intervenir, toutes les fois qu'un intérêt agricole quelconque est en jeu.

On conçoit que les appréciations de ces administrations diverses, qui se placent chacune à un point de vue différent, doivent être assez souvent contradictoires. Aussi, d'ordinaire, n'est-ce pas sans peine ni sans pertes de temps que la ville intéressée parvient à obtenir l'avis unanimement favorable à la suite duquel l'affaire aboutit à la déclaration d'utilité publique. Des renseignements complémentaires lui sont bien souvent demandés, des études nouvelles, des modifications ou des remaniements plus ou moins importants.

Ajoutons que, s'il lui faut recourir à un emprunt, à une imposition de centimes extraordinaires, etc., une instruction financière doit encore être entamée d'autre part : conduite par les ministères de l'intérieur et des finances, elle donne lieu, dans la plupart des cas, à une intervention du Parlement.

419. Une amélioration désirable. — Quelque sommaires que soient les indications qui précèdent, elles suffiront sans doute pour donner une idée de la complication et de la lenteur de la marche actuellement suivie pour l'instruction des grands projets de distributions d'eau, rendre palpables les inconvénients qui résultent presque forcément d'un tel partage des responsabilités. L'absence de toute étude d'ensemble, quand il s'agit de questions aussi délicates et où interviennent des considérations multiples d'ordre si différent, est fâcheuse à coup sûr : elle rend parti-

culièrement difficile la solution du problème, lorsqu'on rencontre, comme il arrive souvent, des exigences opposées, entre lesquelles il faudrait faire un choix ou trouver un terrain de conciliation.

Au contraire, pour les projets de moindre importance, les garanties ne sont peut-être pas suffisantes : la latitude laissée à cet égard au préfet du département peut avoir pour conséquence une approbation trop facilement donnée sans examen approfondi.

Il serait à désirer que les projets de distributions d'eau fussent uniformément soumis à un mode d'instruction à la fois simple, rapide et sûr. Ils intéressent au plus haut point, on ne doit point l'oublier, l'hygiène générale et la salubrité publique : en pareille matière, l'autorisation administrative devrait assurer dans tous les cas une égale sécurité, sans jamais devenir un obstacle ni causer de trop longs retards.

Peut-être n'en sera-t-il ainsi que le jour où l'on viendrait à créer, pour l'examen des questions relatives à l'alimentation des villes en eau potable, une organisation spéciale, comme il en existe déjà en certains pays. La Bavière, le Wurtemberg, par exemple, ont un *bureau technique des eaux*. Les municipalités, si mal secondées aujourd'hui dans leurs efforts quand elles abordent les questions de distribution d'eau, trouveraient alors auprès de l'administration un guide expérimenté, qui leur faciliterait singulièrement la tâche, et leur épargnerait, sans aucun doute, bien des hésitations et des déboires.

CHAPITRE XVII

EXEMPLES DE DISTRIBUTIONS D'EAU

Sommaire :

1er. *Statistique des distributions d'eau.* — 420. Utilité d'une statistique des distributions d'eau. — 421. Tentatives faites à l'étranger. — 422. Absence de statistique en France.

§ 2. *Les Eaux de Paris.* — 423. Importance du service. — 424. Alimentation multiple et double canalisation. — 425. Mode d'alimentation du service privé. — 426. Mode d'alimentation du service public et industriel. — 427. Système de distribution. — 428. Consommation. Résultats techniques. — 429. Vente de l'eau. Résultats financiers.

§ 3. *Grands services d'eau à l'étranger.* — 430. Londres. — 431. Berlin. — 432. Vienne — 433. New-York.

§ 4. *Distributions d'eau dans quelques villes françaises.* — 434. Lyon. — 435. Marseille. — 436. Lille. — 437. Saint-Étienne. — 438. Rennes. — 439. Versailles. — 440. Grenoble. — 441. Albi.

§ 5. *Distributions d'eau dans quelques villes à l'étranger.* — 442. Manchester. — 443. Amsterdam. — 444. Anvers. — 445. Dresde. — 446. Stuttgart. — 447. Naples. — 448. Bucarest. — 449 Chicago.

§ 1er.

STATISTIQUE DES DISTRIBUTIONS D'EAU

420. Utilité d'une statistique des distributions d'eau. — Les études que comportent les projets de distribution d'eau seraient grandement facilitées, si ceux qui en sont chargés pouvaient connaître les solutions adoptées ailleurs dans des cas analogues, en savoir surtout les résultats pratiques. En cette matière comme en beaucoup d'autres, et peut-être plus encore, la statistique est appelée à rendre de très grands services.

N'est-ce pas, en effet, en procédant par comparaison, d'après les quantités consommées dans d'autres localités de même importance, où la population a les mêmes habitudes, l'industrie le même développement, qu'on peut apprécier, sans crainte de s'égarer, le volume d'eau nécessaire ou utile dans une ville quelconque ?

Ne serait-il pas intéressant d'avoir des données précises au sujet de l'influence qu'ont pu avoir, sur la santé publique, les eaux de diverse nature dans les villes où elles sont distribuées ? d'être éclairé sur les préférences des populations ? de savoir si c'est l'eau de source ou l'eau de rivière qui est, en général, le plus recherchée, si les élévations par ma-

chines tendent à l'emporter sur les dérivations, quels modes de captation ont le mieux réussi, quelles dépenses les villes ont dû faire moyennement pour se procurer une quantité d'eau donnée, etc., etc.?

Un recueil qui contiendrait tous ces renseignements, et serait tenu à jour, fournirait des indications extrêmement précieuses pour les études à venir, simplifierait singulièrement les travaux préparatoires, éviterait des discussions oiseuses, couperait court à bien des hésitations. Les ingénieurs, les hygiénistes, les municipalités, y puiseraient avec fruit; l'administration elle-même y trouverait avantageusement groupés une foule de documents aujourd'hui épars et qu'il lui est impossible de consulter utilement.

421. Tentatives faites à l'étranger. — Le besoin d'une statistique des distributions d'eau s'est déjà fait sentir dans certains pays, et l'on rencontre, à l'étranger, plusieurs essais dans cet ordre d'idées qui méritent d'appeler l'attention.

En Angleterre, les travaux de la commission de la pollution des rivières ont provoqué l'accumulation d'un très grand nombre de documents sur l'utilisation des ressources hydrologiques de la Grande-Bretagne, qui a été le point de départ d'études intéressantes et a donné lieu à des publications estimées.

En Allemagne, le congrès des spécialistes[1] a eu l'heureuse idée de réaliser, d'un seul coup, la statistique des distributions d'eau pour toute l'étendue de l'empire, à l'occasion de l'Exposition d'hygiène qui a eu lieu à Berlin en 1883. Le travail, confié à l'ingénieur Grahn, qui, plusieurs années auparavant, avait déjà fait lui-même une tentative du même genre[2], a pu être élaboré en quatre mois seulement. Il s'applique à toutes les villes allemandes dont la population est égale ou supérieure à 5.000 habitants, et comprend dès lors toutes les distributions d'eau de quelque importance. S'il n'a pu, faute de temps, être coordonné et présenté sous une forme qui permette d'en tirer des conclusions immédiates, il n'en constitue pas moins une véritable mine de renseignements, classés par régions et par ordre alphabétique, où il est en somme assez facile de se retrouver. M. Grahn en a du reste tiré, dès l'année suivante, par quelques groupements ingénieux, des déductions du plus haut intérêt; il a montré, par exemple, quel a été le développement progressif des travaux de distribution d'eau en Allemagne; il a constaté que, sur 1.000 habitants des villes (de plus de 5.000 âmes), il y en a 645 qui sont desservis par des canalisations publiques, et 355 qui ont encore recours aux puits et autres ressources locales en dehors des services d'eau, que, parmi ceux qui s'alimentent aux distributions d'eau urbaines, 644 sur 1.000 reçoivent des eaux souterraines ou des eaux de source, et 356 seu-

1. Verein von Gas-und Wasserfachmännern.
2. Die Art der Wasserversorgung des Städte des deutschen Reiches.

lement des eaux de rivière, que la proportion de l'eau de source est plus grande dans les petites villes et moindre dans les grandes, que, sur 100 villes où l'on distribue des eaux souterraines, 54,3 l'ont amenée par la gravité, et 45,7 l'élèvent mécaniquement, etc.

Aux États-Unis, un simple particulier, M. Croes, a entrepris, à lui seul, une statistique du même genre. A cet effet, il a envoyé un questionnaire aux municipalités, tout comme le congrès des ingénieurs allemands ; puis il a publié, sous forme de tableaux, les réponses qui lui sont parvenues, en laissant une place blanche en regard du nom des villes qui se sont abstenues, dans l'espoir que la constatation de leur négligence obligera les municipalités à lui adresser des renseignements pour une deuxième édition.

422. Absence de toute statistique en France. — Rien de semblable n'existe en France et n'y a même été tenté. Peut-être faut-il l'attribuer à ce fait que, dans notre pays où l'administration tient tant de place, il n'y a pas de service qui soit chargé de centraliser les renseignements relatifs aux distributions d'eau. Beaucoup de travaux de canalisation s'exécutent dans les villes, sans même que l'administration supérieure en ait connaissance, puisqu'il suffit d'une simple autorisation des autorités départementales ; quant aux autres, les dossiers qui les concernent étant examinés dans plusieurs ministères à des points de vue différents, ils ne laissent partout que des traces fugitives ou insuffisantes, dont on ne saurait tirer aucun aperçu d'ensemble sur la progression des services d'eau et les résultats obtenus.

D'autre part, il n'y a guère d'ingénieurs qui se soient tout spécialement consacrés à cette branche de leur art, et les municipalités, en quête d'une solution, s'adressent un peu au hasard à ceux qu'elles ont sous la main, quand elles ne veulent pas en passer par les fourches caudines des compagnies financières ou des entrepreneurs spécialistes. Les bonnes volontés ne manquent pas cependant, et il a été publié, en France, un grand nombre d'ouvrages remarquables sur les distributions d'eau, dont quelques-uns sont devenus classiques ; mais les travaux d'ensemble, donnant des vues générales sur la matière, sont relativement rares, et ce sont le plus souvent d'intéressantes monographies.

A notre époque, où la question de l'eau potable prend, dans les villes, une telle importance et se trouve presque partout à l'ordre du jour, il serait vraiment à désirer qu'on entreprît de dresser le bilan des services d'eau en France, de constater les efforts déjà faits et les résultats obtenus. Cela faciliterait grandement, sans aucun doute, les améliorations à venir : ce serait un encouragement pour les uns, un stimulant pour d'autres, un enseignement pour tous.

Faute d'un travail de ce genre, nous ne pouvons donner ici les renseignements statistiques qui s'y trouveraient bien à leur place, et nous nous bornerons à présenter quelques exemples de distributions d'eau,

comme types des divers modes de réalisation pratique des dispositions passées en revue dans les précédents chapitres.

§ 2.

LES EAUX DE PARIS[1]

423. Importance du service. — « Paris, dit Couche dans son beau « livre sur les Eaux de Paris en 1884, est, de toutes les villes du monde, « celle dont la distribution d'eau présente la plus vaste exploitation faite « d'ensemble. »

C'est, en effet, un seul et unique service qui assure dans toute l'étendue de cette grande cité et l'alimentation de la rue et celle des maisons, qui pourvoit aux besoins publics et industriels, en même temps qu'aux besoins domestiques d'une population de plus de 2.300.000 habitants.

Il dispose, pour l'alimentation, de :

Cinq dérivations, dont trois considérables : le canal de l'Ourcq, l'aqueduc de la Dhuis et celui de la Vanne ;

Deux puits artésiens, de plus de 500 mètres de profondeur ;

Vingt usines élévatoires, avec quarante et une machines à vapeur et vingt-deux moteurs hydrauliques, représentant plus de 4.000 chevaux-vapeur utiles.

Cet outillage déjà formidable va s'augmenter prochainement de deux nouvelles usines élévatoires, d'un troisième puits artésien, et d'un nouvel aqueduc de dérivation, dont les travaux sont en cours ou les projets en préparation.

Les réservoirs de distribution, au nombre de dix-sept, tous en maçonnerie et la plupart couverts, ont une capacité totale de près de 600.000 mètres cubes. Un dix-huitième, à trois étages d'eau superposés, est en ce moment même en construction.

La canalisation publique n'a pas moins de 2.000 kilomètres de longueur; les appareils de distribution, posés sur la voie publique et dans les promenades, sont au nombre de 17.000, et les prises d'eau pour abonnements, de 66.000, avec 50.000 compteurs.

La quantité d'eau distribuée par jour atteint moyennement 420.000 mètres cubes et peut s'élever à plus de 500.000.

Dans ce vaste ensemble, l'unité est assurée par un réseau télégraphique spécial qui ne cesse « de transmettre, des extrémités au service cen- « tral et du centre aux extrémités, les renseignements et les instructions, « déterminant, en quelque sorte, heure par heure, le jeu de ce grand

1. Voir chapitre III, pages 41 à 47.

« clavier, dont certaines touches principales sont à plus de 160 kilo-« mètres[1] » de distance.

424. Alimentation multiple et double canalisation.—Sans avoir encore « la quantité d'eau qu'on doit souhaiter pour une grande capitale à la « fois élégante et industrielle, Paris, si pauvrement alimenté il y a vingt « ans, est, quant à présent, la ville d'Europe où le service public de lavage « et d'arrosement, est le moins incomplet »[2], et doit être classé, en outre, au premier rang, pour la qualité de l'eau distribuée dans les maisons.

Ce double résultat a été obtenu grâce à l'exécution du programme tracé de main de maître par Belgrand, dont le nom restera toujours attaché au grand œuvre de la transformation du régime hydraulique de Paris.

C'est lui qui a conçu et fait triompher l'idée de la double canalisation, de la division absolue de la distribution en deux services entièrement distincts, l'un pour la voie publique, l'industrie, les cours, les écuries, les jardins, l'autre pour les habitations proprement dites, entre lesquels il a réparti les ressources fournies par une alimentation multiple et variée. Au service privé ont été attribuées les eaux de source, Dhuis et Vanne, captées au loin, à l'abri de tout soupçon, pures, limpides, fraîches (9° à 11°), amenées par des aqueducs fermés dans des réservoirs couverts, et conduites sans voir le jour, sans possibilité de contamination, du point où elles émergent du sol jusqu'au robinet du consommateur. Au service public ont été réservées les eaux de la Seine et de la Marne, assez pures chimiquement pour tous les emplois industriels, mais chaudes en été, froides en hiver, souvent troubles, et qui doivent être écartées comme suspectes de la consommation domestique ; celles du canal de l'Ourcq, longue dérivation à ciel ouvert, servant à la fois d'aqueduc pour l'amenée de l'eau et de voie navigable ; celles aussi des anciennes dérivations (Arcueil, Prés Saint-Gervais), lourdes et séléniteuses, ainsi que les eaux chaudes des puits artésiens. C'est encore Belgrand qui, par

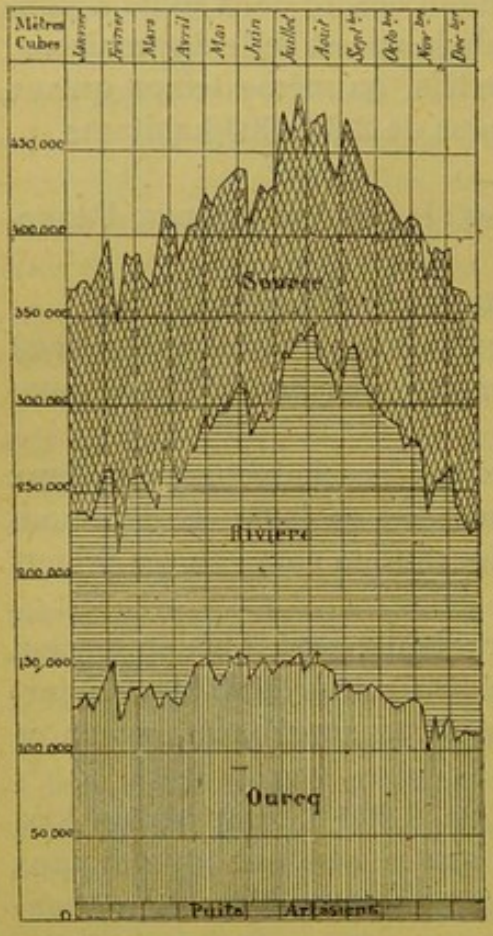


FIG. 528. — Répartition par provenances des eaux distribuées en 1886.

1. COUCHE. *Les Eaux de Paris* en 1881, p. 4.
2. *Ib.* p. 121.

une habile répartition de ces diverses eaux entre plusieurs zones et plusieurs étages distincts [3], a su faire concourir à un but unique une série de distributions, juxtaposées et superposées sans jamais être confondues, de manière à satisfaire à toutes les exigences du double service dans une ville étendue, où le sol est très accidenté, tout en évitant et les trop fortes pressions et les élévations d'eau inutiles.

425. Mode d'alimentation du service privé. — Des deux aqueducs, dont le produit est affecté aux usages domestiques, au service privé, le premier, celui de la Dhuis, construit en 1864-1866, amène sur les hauteurs de Ménilmontant, à l'altitude de 108 mètres au-dessus de la mer,

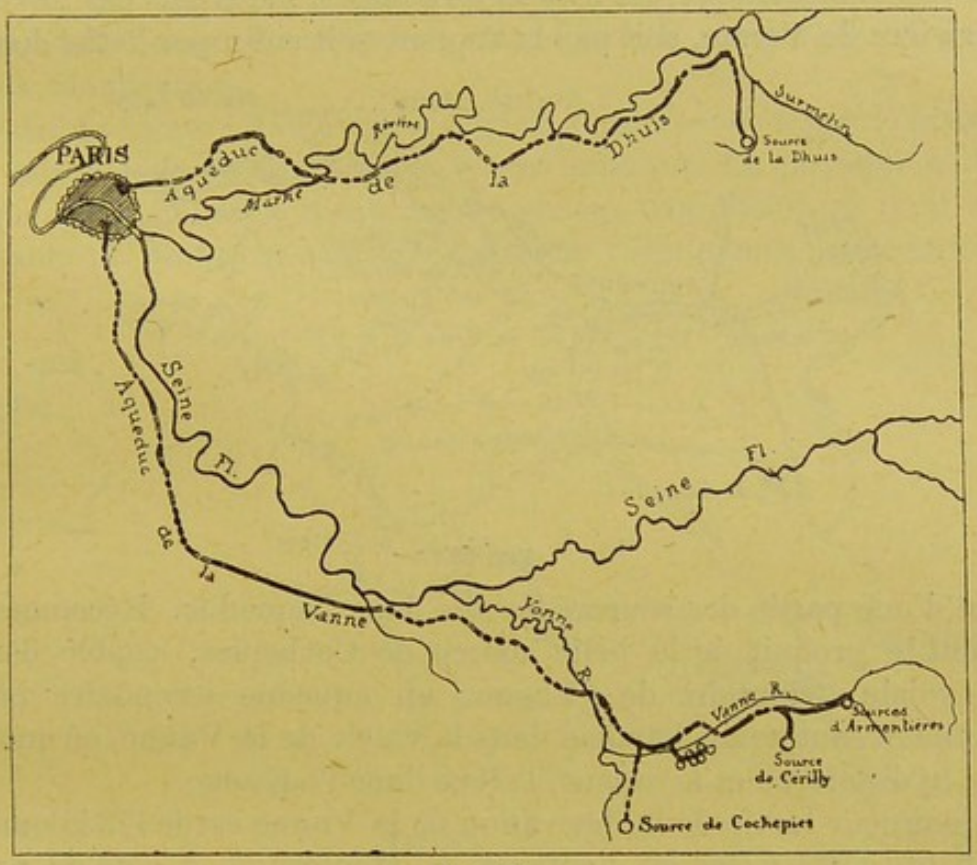


Fig. 529.

soit 75 mètres plus haut que le niveau des quais, les eaux de la source de Pargny, située à la cote 128, et qui marque l'origine du ruisseau de la Dhuis, affluent du Surmelin, non loin de Château-Thierry. Il n'a pas moins de 131 kilomètres de longueur, et a été exécuté entièrement en tranchée ou en souterrain, avec des siphons à la traversée des vallées, sans aucun ouvrage apparent : les parties en aqueduc libre sont en maçonnerie, à section ovoïde (*fig.* 67), avec une pente de $0^m,10$ par kilomètre; les siphons sont composés d'une file de tuyaux de fonte à emboîtement de 1 mètre de diamètre donnant une perte de charge de $0^m,55$ par kilomètre. On y compte 101.970 mètres de tranchées, 12.209 mètres de souterrains,

1. Voir Chapitre XII. Fig. 263, 264, 266, 267.

16.984 de siphons. Il verse dans le réservoir de 100.000 mètres cubes de capacité, où il débouche à Ménilmontant, 20.000 à 25.000 mètres par jour d'eau de source, et a coûté environ 18 millions de francs.

Le second, celui de la Vanne, commencé en 1868 et terminé en 1874, est beaucoup plus important ; il fournit chaque jour 110.000 mètres cubes provenant d'une série de sources, tributaires de la rivière du même nom, éparses dans la vallée entre Sens et Troyes. Ces sources forment deux groupes, dont l'un, dit des sources hautes, jette directement dans l'aqueduc des eaux qui sont amenées jusqu'à Paris par le seul effet de la gravité, tandis que pour l'autre, dit des sources basses, il a fallu recourir à une élévation mécanique, au moyen de pompes, mues soit par des chutes de la rivière de Vanne, soit par la vapeur, soit enfin par l'effet du déver-

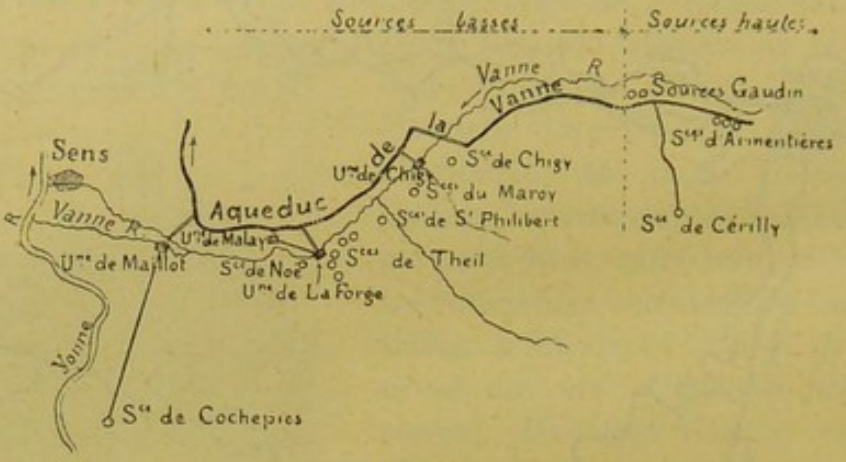


FIG. 530.

sement d'une partie des sources hautes dans l'aqueduc. Récemment on y a joint le produit de la belle source de Cochepies, captée dans un vallon voisin, tributaire de l'Yonne ; un aqueduc secondaire presque entièrement souterrain, l'amène dans la vallée de la Vanne, où une usine mixte, hydraulique et à vapeur, l'élève dans l'aqueduc.

La longueur totale de la dérivation de la Vanne est de 173 kilomètres ; elle aboutit à Paris sur les hauteurs de Montrouge, à côté du parc de Montsouris, dans un réservoir à deux étages, de quatre hectares de superficie et 250.000 mètres cubes de capacité, à l'altitude de 80 mètres au-dessus du niveau de la mer. La pente totale assez faible dont on disposait n'a pas permis de faire en siphon toutes les traversées de vallées, et les moins profondes ont été franchies au moyen d'arcades en maçonnerie, dont des dispositions économiques et hardies ont fait l'admiration des ingénieurs, mais qui comportent un entretien difficile et coûteux. Les parties maçonnées ont une section circulaire de $2^m,10$ de diamètre intérieur (*fig.* 68), avec une pente de $0^m,13$ et 0^m10 par kilomètre ; les siphons, formés de deux files de tuyaux en fonte de $1^m,10$ de diamètre, ont été calculés avec une charge de $0^m,60$ par kilomètre. On compte sur la dérivation de la Vanne 93.000 mètres de tranchées, 41.900 mètres de souterrains, 16.600 mètres d'arcades et 21.500 mètres de siphons.

L'ensemble, y compris l'acquisition des sources, les indemnités aux usagers, le réservoir, etc., a coûté près de 50 millions de francs.

Nous avons donné au chapitre VI l'analyse des eaux de la Vanne et de la Dhuis. La Vanne fait à Paris le service privé dans les quartiers bas et moyens, la Dhuis dans les quartiers hauts, jusqu'au pied des collines abruptes de la rive droite, des buttes de Montmartre et de Belleville. Des usines de relais refoulent de l'eau de Dhuis jusque dans les réservoirs placés au sommet de ces buttes, une autre assure en eau de Vanne le service du plateau de Plaisance. Enfin des machines établies boulevard de la Villette (*fig.* 535) permettent d'élever de l'eau de Vanne dans le réseau de la Dhuis, de manière qu'on puisse répartir suivant les besoins le produit des deux aqueducs entre les deux réseaux correspondants de la canalisation.

Cet ensemble donne 130.000 mètres cubes d'eau de source par 24 heures en toute saison, soit 60 litres environ par habitant. La pratique a démontré que cette quantité d'eau est beaucoup trop faible et qu'il est indispensable de renforcer considérablement l'alimentation du service

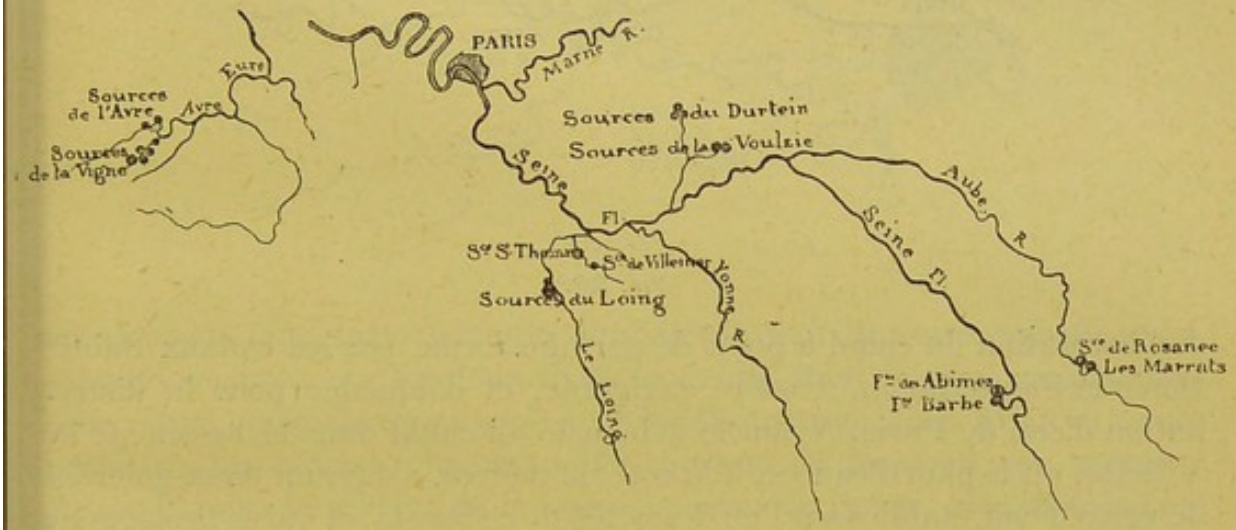


FIG. 531.

privé. Quelques améliorations en cours à l'aqueduc de la Vanne vont en porter le débit à 130.000 mètres, ce qui fera 150.000 pour l'ensemble. Mais ce n'est encore qu'un appoint insuffisant, et dès 1881 des études ont été entreprises en vue de préparer l'exécution de dérivations nouvelles. Après une exploration qui s'est étendue à tout le bassin de la Seine, la ville de Paris s'est rendue acquéreur, en 1884, de diverses sources, dont le produit total représente 3.000 à 3.500 litres par seconde, soit environ 300.000 mètres cubes par 24 heures : un des groupes de sources compris dans ces acquisitions, celui de la Vigne (département d'Eure-et-Loir), doit alimenter un aqueduc de 100 kilomètres de longueur, dont le projet est actuellement soumis aux pouvoirs publics, et qui doit fournir à l'ouest de Paris, à une altitude voisine de la cote 100, un supplément d'alimentation de 120.000 mètres cubes par jour.

426. Mode d'alimentation du service public et industriel. — Le service public et industriel est fait dans tout le centre de Paris, dans les quartiers bas sur les deux rives de la Seine, par les eaux de l'Ourcq. Le canal qui les amène à Paris est une dérivation de la rivière d'Ourcq [1], affluent de la Marne. Sur son parcours (longueur 107 kilomètres), entre le point d'origine, Mareuil, et le point d'arrivée, le bassin de la Villette, il reçoit l'apport de plusieurs autres affluents de la Marne, notamment de la Beuvronne et de la Thérouenne, et, en été, quand le débit de ces cours d'eau diminue, les eaux refoulées par les pompes établies sur la Marne même à Isles-les-Meldeuses et à Trilbardou, en amont et en aval de Meaux : il joue d'ailleurs le triple rôle de rigole

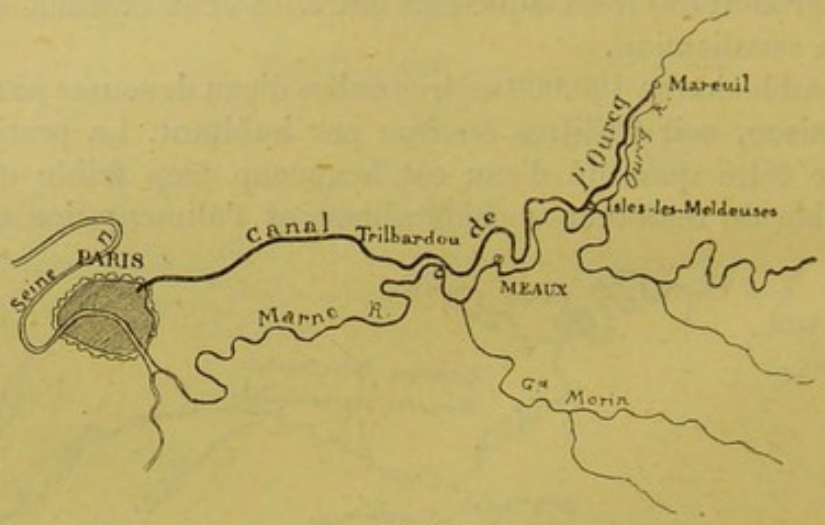


FIG. 532.

d'alimentation du canal à point de partage formé par les canaux Saint Denis et Saint-Martin, d'artère navigable, et d'aqueduc pour la distribution d'eau de Paris. Avant le débouché du canal dans le bassin de la Villette, où le plan d'eau est à la cote 52 mètres, s'ouvrent deux galeries de prise d'eau, établies sur l'un des côtés de ce bassin, et qui se prolongent par l'aqueduc, dit de ceinture, jusqu'au réservoir Monceau : ces galeries reçoivent les 120.000 mètres cubes d'eau d'Ourcq consommés chaque jour à Paris, et les jettent dans un vaste réseau de conduites, qui aboutit sur la rive gauche aux réservoirs Saint-Victor, Racine et de Vaugirard (*fig.* 206). La pression de l'eau d'Ourcq est faible, elle suffit cependant pour assurer sur une grande étendue le service de la rue, des usines et des cours, et on l'utilise jusqu'au bois de Boulogne ; c'est vers Grenelle, à l'extrémité sud-ouest du réseau qu'elle laisse le plus à désirer, aussi va-t-elle y être renforcée par une nouvelle usine, destinée à refouler dans le réseau même, et jusqu'à un réservoir établi à la côte 50 mètres sur les coteaux de Vaugirard, un appoint de 20.000 mètres cubes puisé en Seine (usine de Javel *fig.* 533).

1. Voir chapitre III, p. 44.

Dans les quartiers situés à une altitude moyenne, le même service est fait par l'eau de Seine, que fournissent trois groupes de réservoirs disposés au Sud, à l'Est et à l'Ouest, à des altitudes comprises entre 89 et 76 mètres au-dessus du niveau de la mer et reliés entre eux par un réseau unique de conduites. Ces trois groupes de réservoirs, qui forment

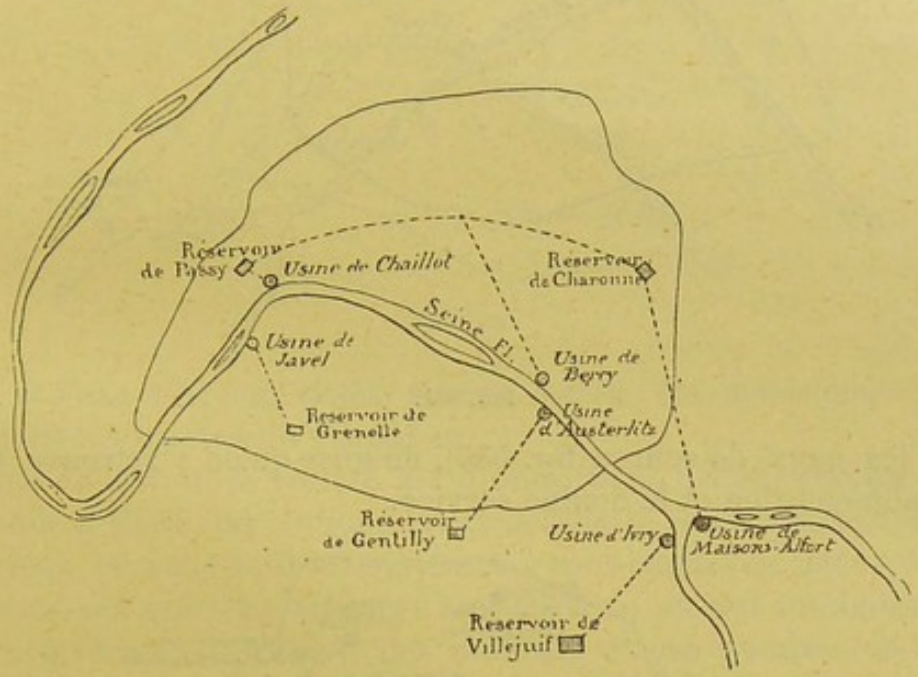


FIG. 533.

les sommets d'un vaste triangle équilatéral, sont alimentés par une série d'usines réparties sur les deux rives du fleuve, dont la plus importante, celle d'Ivry, peut élever chaque jour 86.000 mètres cubes d'eau et comprend six machines à vapeur de 160 chevaux de force en eau montée. Après la mise en service de la nouvelle usine de Bercy, actuellement en construction et qui doit refouler 50.000 mètres cubes au pied de la butte Montmartre, l'ensemble des pompes échelonnées sur la Seine pourra fournir jusqu'à 220.000 mètres cubes par 24 heures.

Dans les quartiers hauts, au Nord-Est de Paris, c'est l'eau puisée en Marne par la grande usine de Saint-Maur (fig. 534), avec ses huit machines hydrauliques et ses trois machines à vapeur, d'une puissance totale de 1.200 chevaux, qui alimente le service public et industriel. Les pompes de Saint-Maur peuvent élever jusqu'à 80.000 mètres cubes; une partie, un sixième environ, est jetée dans le lac de Gravelle pour l'alimentation du bois de Vincennes; le reste se déverse à la cote 100^{m} dans les bassins inférieurs de Ménilmontant, établis au-dessous du grand réservoir de la Dhuis.

L'eau de Marne ne pouvant elle-même atteindre les hauteurs de Montmartre, des buttes Chaumont et de Belleville, des usines de relais

sont disposées pour refouler au sommet des coteaux les eaux de rivière

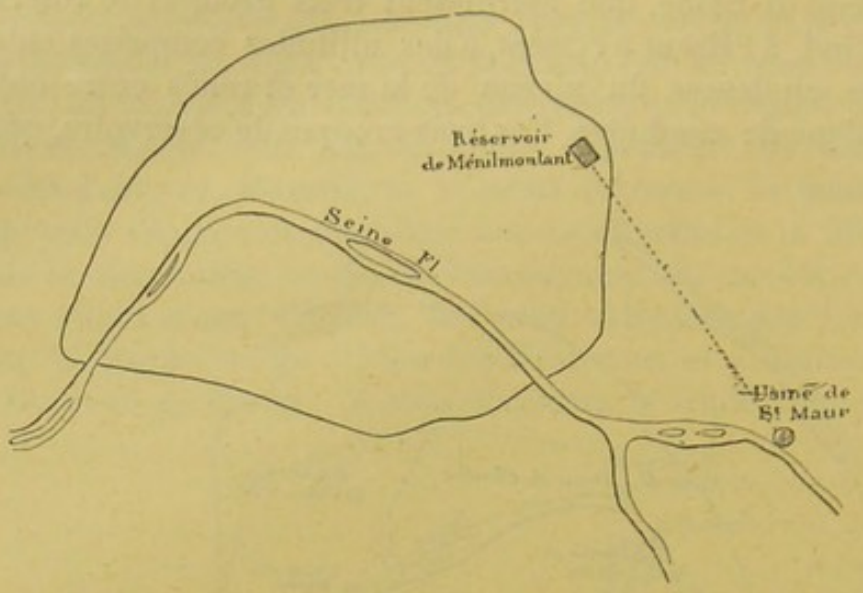


Fig. 534.

comme les eaux de source (fig. 535), de sorte qu'on y retrouve aussi la double alimentation et le double service.

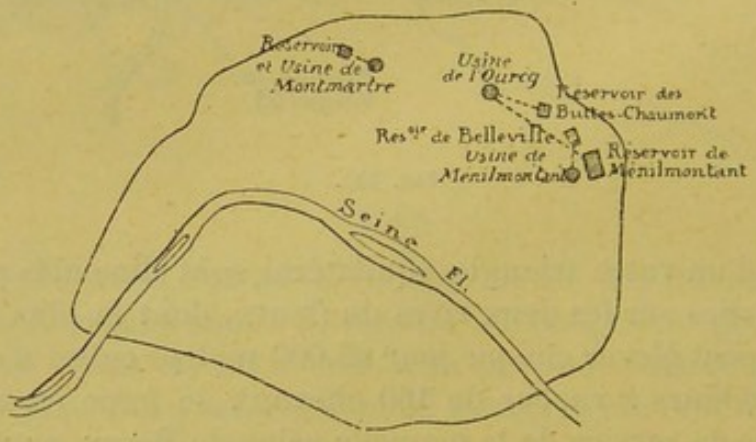


Fig. 535.

Les puits artésiens de Grenelle et de Passy[1] ne fournissent à la distribution qu'un appoint peu important ; les eaux du premier (200 à 300 mètres cubes par jour) sont déversées dans la canalisation de l'eau de l'Ourcq ; celles du second (5.000 à 6.000 mètres cubes) sont employées au bois de Boulogne. Le débit du puits de la place Hébert (fig. 536), en voie d'achèvement, celui du puits de la butte aux Cailles, dont les travaux sont interrompus depuis plusieurs années, ne doivent pas être utilisées d'une autre manière.

Quant aux eaux des anciens aqueducs, des sources du Nord (Belleville et Prés-Saint-Gervais) et des sources du Sud (Arcueil), elles ne sont plus jugées assez bonnes pour le service privé, ni assez abon-

1. Voir chapitre VII, p. 165.

dantes pour être distribuées par des conduites spéciales; celles des sources du Nord (200 mètres cubes) ne servent qu'au lavage de quelques

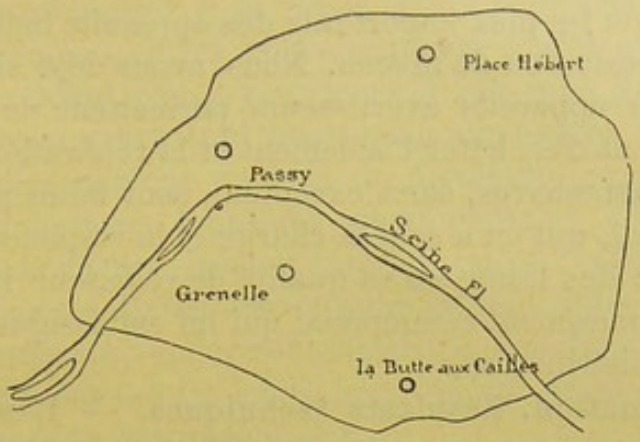


Fig. 536.

égouts, et l'eau d'Arcueil (1.000 mètres cubes) est mélangée à l'eau de Seine dans les bassins du Panthéon.

Comme on le voit, la variété est grande dans l'alimentation du service public à Paris, dérivations, puits artésiens, machines hydrauliques et à vapeur, presque tous les systèmes y sont employés. Dans les nombreuses usines qui sont affectées à ce service, et qui remontent à des époques diverses, on trouve des moteurs et des pompes de bien des types; turbines, roues-turbines, roues Sagebien, moteurs à vapeur à un et à deux cylindres, à simple et à double effet, genre Cornouailles, Woolf, Farcot, Corliss, Sulzer, etc., pompes horizontales, verticales, rotatives, à simple et à double effet, etc; mais le type dominant, celui qui est représenté par les spécimens les plus nombreux et les plus satisfaisants, c'est la pompe Girard, à corps de pompe en forme de baril, avec grands clapets à ressorts extérieurs, et à piston plongeur, commandé directement par un moteur à vapeur horizontal monocylindrique à double effet.

127. Système de distribution. — Dans toutes les parties du double réseau de la distribution d'eau de Paris, les conduites sont constamment en service et en pression; toute la canalisation se compose de circuits fermés, à mailles serrées, et en tous les points l'alimentation peut se faire de deux côtés. A tous les embranchements sont placés des robinets; il y en a également à intervalles peu éloignés sur les conduites de quelque longueur. Toutes les prises d'eau pour appareils publics ou branchements particuliers sont faites en laissant les conduites en charge. Grâce à ces dispositions, et malgré la multiplicité inévitable des travaux de chaque jour, les interruptions de service sont réduites au minimum, relativement rares et limitées dans chaque cas à un petit nombre de maisons, où des avertissements préalables doivent toujours être donnés en temps utile.

Sans doute, dans un réseau ou plutôt dans une série de réseaux aussi complexe, le calcul est impuissant à déterminer exactement les conditions de l'écoulement et les pertes de charge; on y supplée en répartissant aux points les plus importants des appareils indicateurs et enregistreurs de pression ou de niveau. Nous avons déjà signalé le rôle du télégraphe. Des appareils avertisseurs permettent de limiter l'importance des fuites et d'en hâter l'isolement et la réparation.

Toutes les manœuvres, sans exception, sont faites par les agents du service municipal, qui en a seul la charge et la responsabilité. La Compagnie générale des Eaux, en sa qualité de régisseur intéressé, n'a pas à sortir du rôle purement commercial qui lui est assigné et ne s'immisce jamais dans la distribution.

428. Consommation. Résultats techniques. — L'eau fournie pour les usages domestiques, le service privé, est, nous l'avons dit, de qualité supérieure. C'est de l'eau de source, d'une limpidité admirable, prenant sous une grande épaisseur une belle teinte bleue, agréable au goût, pauvre en microbes, d'une salubrité parfaite, à l'abri de tout soupçon. Le volume disponible en est d'ailleurs suffisant pendant dix mois de l'année environ, et en hiver il dépasse souvent notablement les besoins; mais, bien que le débit des aqueducs se maintienne l'été sans modification, il ne suffit plus alors à la consommation surexcitée par la chaleur, et, en attendant l'exécution du nouvel aqueduc qui amènera les eaux de la Vigne, le service de la distribution n'a d'autre ressource, pendant un ou deux mois chaque année, que de supprimer momentanément dans une partie determinée du réseau (3 ou 4 arrondissements sur 20) la livraison de l'eau de source, et d'y substituer, après avis préalable par voie d'affiches et dans les journaux, l'eau de Seine prise à Ivry, à l'amont de Paris, au-dessus du confluent de la Marne. Tout mélange est absolument proscrit comme une coupable falsification. L'expédient de la substitution est fâcheux sans aucun doute; bien que l'eau de Seine ait été pendant longtemps acceptée par la population parisienne, bien qu'elle soit puisée avant son entrée dans Paris, elle est à juste titre devenue suspecte aux hygiénistes ; le public ne s'en sert plus qu'avec une certaine répugnance, et il est à désirer que les travaux de la dérivation de la Vigne puissent être entrepris bientôt et menés rapidement, de telle sorte que dans trois ou quatre ans au plus l'eau de Seine disparaisse absolument de la consommation privée et que les usages domestiques soient partout et toujours desservis en eau de source.

La quantité d'eau dont Paris dispose pour le service public et industriel est à la hauteur des besoins, et, lorsque les travaux en cours auront pris fin, elle suffira très probablement pendant quelques années, sans addition aucune, à la consommation générale, malgré l'extension que prend l'emploi de l'eau de la distribution pour le curage des égouts.

Dans toutes les rues de Paris les caniveaux sont lavés à grande eau deux fois par jour; seules quelques-unes de ces voies privées, qui échappent jusqu'à présent à une réglementation devenue cependant bien nécessaire, font exception à la règle. L'arrosage à la lance, en usage depuis fort longtemps sur les voies fréquentées, s'étend rapidement et ne tardera sans doute pas à remplacer à peu près partout l'usage du tonneau. Les promenades sont largement alimentées, et de véritables rivières artificielles coulent au bois de Boulogne et au bois de Vincennes. Les nombreuses fontaines monumentales desservies par le réseau de l'eau de l'Ourcq jouent tous les jours ; celles qui reçoivent l'eau de Seine tous les dimanches et jours de fête. Plusieurs milliers de bouches pour pompes à vapeur sont réparties dans tous les quartiers de Paris, et y fournissent l'eau à haute pression qui permet d'employer le jet direct à l'extinction des incendies [1].

Le diagramme ci-contre (fig. 537) donne la répartition de l'eau consommée à Paris entre les divers services. Il accuse nettement la prédominance actuelle des services public et industriel sur le service privé. Sur 80.000 maisons en effet, dont 87 0/0 ont une conduite d'eau de source devant leur façade, il en est 23.000 environ qui ne sont pas abonnées, et il faut s'attendre encore à un accroissement considérable du service privé. Cet accroissement sera d'ailleurs singulièrement hâté si le principe de l'obligation, déjà voté par le conseil municipal, vient à être mis en application, puisqu'il fait passer tout à coup au nombre des abonnés les habitants de ces 23.000 maisons, qui aujourd'hui se contentent du maigre volume d'eau puisé par les ménagères aux bornes-fontaines de la rue. Très probablement, quand le service privé aura reçu tout le développement qu'il comporte et qui est si désirable, la consommation de ce service sera au moins égale sinon supérieure à celle des services public et industriel.

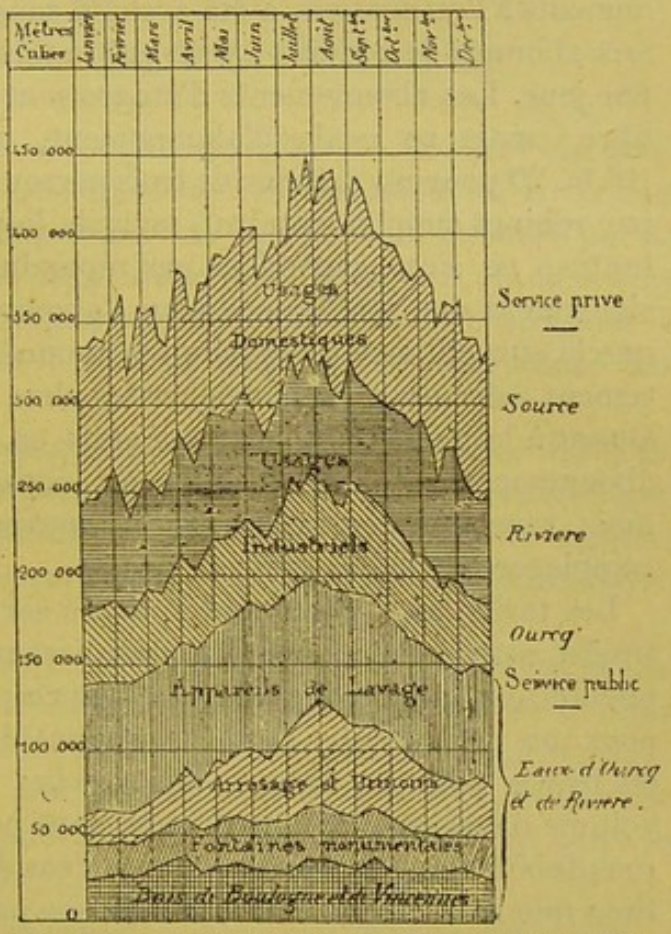


Fig. 537. — Répartition de la consommation en 1886.

1. Les pompes à vapeur ne servent qu'en cas d'insuffisance du jet direct.

L'emploi de l'eau comme force motrice est presque nul à Paris, en dehors des ascenseurs. Il est rationnel de ne point chercher à le développer, car Paris est situé dans un pays de plaines, fort éloigné des grandes altitudes, et l'eau en pression y reviendra toujours trop cher sans aucun doute pour qu'il y ait avantage à l'utiliser de la sorte.

429. Vente de l'eau. Résultats financiers. — L'eau est délivrée aux particuliers abonnés, soit à la jauge, soit au compteur, par l'intermédiaire de la Compagnie générale des Eaux, régisseur intéressé de la ville en vertu d'un traité conclu en 1860 et qui expire en 1910. Elle est encore vendue dans les fontaines marchandes, qui, malgré la disparition presque complète des porteurs d'eau, ont été maintenues à raison d'une par arrondissement, afin qu'on puisse toujours en cas de besoin, se procurer de l'eau de source au tonneau. D'autre part, l'eau de rivière est vendue par attachements pour l'alimentation des chantiers de construction et autres usages temporaires sur la voie publique.

Le compteur, imposé depuis 1880 en remplacement des anciens abonnements à l'estimation, a été accepté sans peine, grâce à la faculté offerte aux abonnés de réduire à leur gré le minimum souscrit jusqu'à 125 litres par jour. Les abonnements d'étages sont seuls encore consentis à robinet libre ; mais ce mode d'abonnement, malgré des prix très modérés, (16 fr. 20 pour un ménage de trois personnes, et 4 francs par personne et par robinet supplémentaire), malgré la pose gratuite des colonnes montantes, ne s'est cependant pas répandu, soit que les propriétaires parisiens aient une préférence pour l'abonnement collectif par maison, soit que la surveillance à laquelle les abonnés à robinet libre sont nécessairement astreints pour empêcher les abus ait été la cause de cet insuccès. Quant à la jauge, fort anciennement en usage à Paris surtout pour les abonnements industriels, elle est conservée par les anciens abonnés mais rarement demandée par les nouveaux : il y a plutôt tendance à la remplacer par le compteur.

Les tarifs, aussi bien pour l'eau du service privé que pour l'eau industrielle, sont progressivement décroissants : les prix les plus élevés, applicables aux petits abonnements, sont respectivement de 120 francs par an pour un mètre cube par jour applicable aux usages domestiques et de 60 francs pour les usages industriels ; ils s'abaissent à mesure que le volume d'eau demandé augmente, sans pouvoir jamais descendre au-dessous de 55 francs par mètre cube pour l'eau de source et 25 francs pour l'autre. Bien que le chiffre de 120 francs puisse paraître élevé, les facilités offertes aux petits abonnés, la possibilité d'avoir des abonnements d'eau de source à 20 francs par an (125 litres par jour), et même à 16 fr. 20 (pour un ménage de trois personnes), permettent de dire que l'eau en réalité ne revient pas cher dans les maisons de Paris.

Le revenu brut total du service des eaux de Paris est d'un peu plus de 11 millions de francs, et les dépenses annuelles s'élèvent à 4 ou 5 mil-

lions ; il donne par suite un revenu net de 6 à 7 millions pour la rémunération du capital engagé, qui peut être estimé à plus de 200 millions de francs. Sans être très rémunérateur, un pareil revenu doit être considéré comme tout à fait satisfaisant, surtout si l'on observe que l'eau employée dans les services publics n'est pas comptée et que ces services sont en conséquence desservis gratuitement. Les travaux à faire pour compléter l'alimentation du service privé seront sûrement productifs ; et, dans le cas où l'obligation serait prononcée, il en résultera très probablement une telle augmentation de recettes qu'après avoir couvert les frais de l'emprunt contracté pour l'exécution des travaux on pourra procéder à un dégrèvement, en abaissant d'une manière sensible le prix de l'eau, sans compromettre cette excellente situation financière.

§ 3.

GRANDS SERVICES D'EAU A L'ÉTRANGER

430. Londres. — La quantité d'eau distribuée à Londres (au maximum 700.000 mètres cubes) est supérieure à l'ensemble de la consommation parisienne, mais elle représente un volume bien moindre par habitant (175 litres contre 215). Et, d'autre part, le service, au lieu d'être confié à une administration unique, est divisé entre huit compagnies indépendantes qui desservent des territoires distincts[1] formant comme huit villes accolées.

L'existence de ces huit compagnies, dont le privilège a une durée illimitée, donne lieu entre les diverses parties de la métropole britannique à des inégalités dans les quantités d'eau, dans les modes de distribution, dans les tarifs, qui paraîtraient choquantes et inadmissibles à Paris.

L'alimentation est empruntée à la Tamise, à un de ses affluents la Lea, dont le New River est une dérivation, à quelques sources de la craie, dont la plus importante, Chadwell Spring, débite 220 litres par seconde, et enfin à 18 puits artésiens percés dans la craie. En 1884, la quantité d'eau totale distribuée à Londres était répartie comme suit entre les diverses sources d'alimentation :

Tamise et sources de la vallée	50	pour 100
Lea et sources correspondantes	38	—
Puits artésiens	12	—

Le titre hydrotimétrique de ces eaux varie moyennement de 19° à 21°, mais peut s'abaisser jusqu'à 15° et s'élever jusqu'à 24° ; il est donc très

1. Fig. 265.

analogue à celui des eaux de la Seine et de la Marne. La Tamise et la Lea sont très souvent troubles, surtout en hiver, et l'eau qu'elles fournissent contient beaucoup de matières organiques (3 à 7 fois plus que celle des puits); aussi n'est-elle employée qu'après décantation et filtration ; sa température éprouve d'ailleurs des variations considérables (de 3°,8 à 20°,11 en 1881).

Une seule compagnie (Kent Waterworks) distribue des eaux non filtrées et fraîches, provenant de 10 forages. Ses établissements sont disséminés et séparément peu considérables. Elle dessert la banlieue Est, Greenwich et Woolwich, et livre à peu près 40.000 mètres cubes par jour à une population de 350.000 habitants.

Deux compagnies (New River et East London) fournissent dans le périmètre qu'elles desservent l'eau de la Lea, la première avec un appoint provenant de quelques sources et de sept forages, la seconde avec un mélange d'eau de la Tamise. Toutes deux ont recours à la filtration ; la première, cependant, fait un petit service industriel spécial en eau non filtrée qui absorbe à peu près le dixième de sa fourniture totale.

Les cinq autres compagnies, qui alimentent environ la moitié de la population de Londres, ne disposent que de l'eau de la Tamise. Toutes ont leurs prises près de Hampton (rive gauche), ou Molesey (rive droite), à 30 kilomètres en amont de Charing Cross, et sont obligées de filtrer la

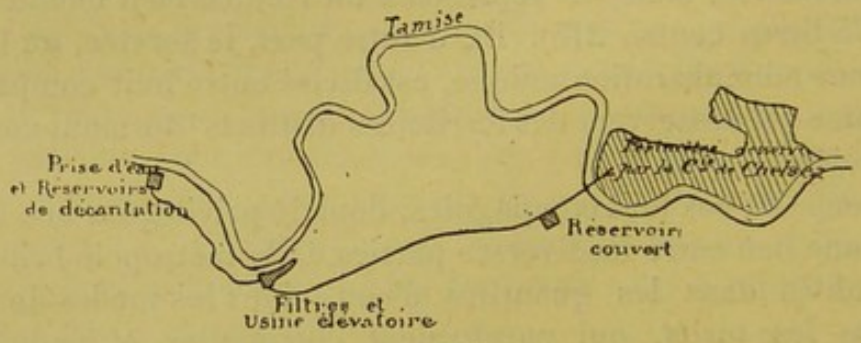


FIG. 538.

totalité de leurs eaux. Leur installation comporte une prise, avec de vastes bassins de décantation et un premier relais de pompes, des bassins filtrants placés un peu plus bas, puis une ou plusieurs usines élévatoires refoulant l'eau filtrée dans de hautes colonnes verticales, suffisamment élevées pour dominer tout le réseau et qui donnent à ces usines un aspect tout particulier, enfin un réservoir de distribution destiné à parer aux variations horaires de la consommation. La figure 538 donne, à titre d'exemple, l'indication des ouvrages de la compagnie de Chelsea.

Les bassins de décantation établis sur les bords de la Tamise ont une capacité très considérable, afin de contenir un approvisionnement suffisant pour éviter tout emprunt au fleuve en temps de crue. La filtration s'opère à raison de deux mètres cubes en moyenne par mètre carré et

par jour, ce qui oblige les compagnies à disposer d'énormes surfaces filtrantes. Au sortir des filtres l'eau est parfaitement claire.

Les machines élévatoires sont presque toutes verticales, soit du type de Cornouailles, soit du type Woolf avec balancier horizontal supérieur et volant. Les compagnies Lambeth, Grand Junction, West Middlesex, New River et East London ont des usines de relais avec des réservoirs correspondants pour le service des quartiers hauts.

Il y a quelques années, la distribution intermittente était encore la règle générale : les abonnés ne recevaient l'eau que pendant deux heures chaque jour. Peu à peu le service constant remplace l'ancien mode de distribution; mais la progression n'est pas la même pour les diverses compagnies, celle qui a le plus avancé l'œuvre de la transformation est l'East London. L'absence d'appareils tels que les compteurs ou la jauge, destinés à mesurer ou à limiter l'eau consommée, et qui étaient manifestement inutiles avec la distribution intermittente, laisse le champ libre au gaspillage, partout où l'on installe le service constant : déjà on en signale les effets, et, pour le restreindre, la surveillance redouble, et les précautions se multiplient.

Les tarifs sont assez élevés. Ils ont pour base une perception proportionnelle au prix des loyers, dont le taux varie de 4 à 7,5 0/0 suivant les compagnies, et dépasse même ces limites dans les quartiers hauts. Des suppléments fixes sont comptés en outre pour les water-closets, les bains, les robinets disposés aux étages supérieurs, etc. : ces suppléments varient en général de 2 fr. 50 à 18 fr. 75. Pour tous usages autres que ceux des ménages, pour les cours, écuries, jardins, ainsi que pour les consommations industrielles, il est traité de gré à gré.

Les habitations sont bien desservies à Londres, où l'emploi de l'eau en abondance est depuis longtemps entré dans les mœurs; dans la plupart des maisons abonnées — et on n'en compte pas moins de 611.000, car on ne connaît pas à Londres nos vastes constructions à étages, où un grand nombre de ménages se trouvent réunis sous le même toit — il y a non seulement un water-closet bien alimenté, mais aussi une salle de bains.

Par contre, le service public est extrêmement réduit. Pour 4.700 kilomètres de voies canalisées, il n'y a que 800 bouches de remplissage des tonneaux d'arrosement et 6.400 bouches d'incendie. Les fontaines de puisage sont inconnues, et les pelouses des parcs ne sont pas arrosées.

La dépense totale de premier établissement accusée par les huit compagnies atteignait à la fin de 1883 le chiffre de 328 millions de francs; leurs frais annuels sont d'ailleurs très importants : elles n'en réalisent pas moins d'énormes bénéfices. La situation privilégiée de ces puissantes compagnies est d'ailleurs un obstacle au progrès : on commence bien à réclamer à Londres de l'eau meilleure, plus salubre, plus fraîche; on discute de temps à autre des projets conçus en vue d'une transformation

complète de l'alimentation ; mais de longtemps encore, sans doute, il ne se produira pas de changement notable, car les compagnies résisteront énergiquement à la pression de l'opinion publique.

431. Berlin. — Jusqu'en 1856, Berlin n'a pas eu de distribution d'eau. Toutes les maisons étaient alimentées par l'eau de la nappe souterraine, et on y compte encore maintenant un grand nombre de puits, et même de petits services d'eau privés avec pompes mues par des moteurs à vapeur ou à gaz.

La distribution d'eau, établie d'abord par une compagnie anglaise, puis rachetée par la ville et considérablement développée par elle, comprend aujourd'hui une double alimentation : d'une part, l'eau de la Sprée, puisée immédiatement à l'amont de la ville ; d'autre part, celle du lac Tegel, situé à 10 kilomètres au nord-ouest, non loin du confluent de la Sprée et de la Havel. Ces eaux sont l'une et l'autre filtrées par le système anglais sur des couches de sable. Sur le bord du lac Tegel, on avait d'abord tenté d'utiliser l'eau de la nappe, afin d'éviter la filtration artificielle, et 23 puits, disséminés sur une longueur de 1.500 mètres, avaient été creusés dans les sables de la rive [1] ; mais l'eau ferrugineuse, extraite de ces puits, a provoqué dans les réservoirs et les conduits un tel développement de la crenothrix [2] qu'il a fallu y renoncer absolument, pour en revenir à une prise directe dans le lac. Jusqu'à présent la quantité d'eau distribuée, qui ne dépasse guère en tout 80.000 mètres cubes par jour, soit moins de 75 litres par habitant, est empruntée à peu près par moitiés égales à la Sprée et au lac Tegel : mais on doit doubler le volume d'eau à provenir de ce dernier mode d'alimentation.

Les usines de Stralau (Sprée) et du Tegel élèvent d'abord l'eau sur les filtres disposés dans le voisinage immédiat des machines, puis repren-

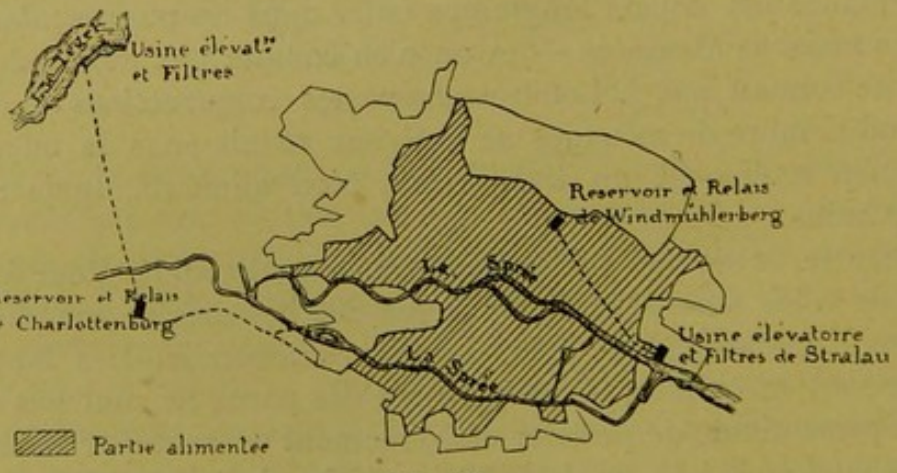


FIG. 539.

nent l'eau filtrée pour la refouler, la première au réservoir du Windmühlerberg à la cote 24, la seconde à celui de Charlottenbourg, à la

1. Voir chapitre VII, fig. 28.
2. Voir chapitre V, p. 94.

cote 27. Deux usines de relais, établies à côté de ces réservoirs, servent à relever une partie des eaux du premier et la totalité des eaux du second, l'une dans une colonne verticale, l'autre dans un petit réservoir placé au sommet d'une tour d'eau dans l'établissement du Windmühlerberg, à la cote 55. Il y a donc deux étages distincts, commandés le premier par le réservoir bas et l'autre par le réservoir haut de cet établissement.

Les machines, au nombre de 10 à l'usine de Stralau, sont toutes verticales à balancier ; les unes, à cylindre unique et pompes à simple effet, sont acouplées deux à deux ; les autres sont à deux cylindres Woolf, avec pompes foulantes à double effet et pompes élévatoires à simple effet pour amener l'eau sur les filtres. A l'usine du Tegel il y a deux séries de pompes à double effet, les unes élevant l'eau dans un réservoir d'approvisionnement de 1.000 mètres cubes de capacité, d'où elles passent sur les filtres, et les autres la refoulant dans la conduite unique de $0^m,91$ de diamètre et 7.000 mètres de longueur qui la porte à Charlottenbourg ; les moteurs sont horizontaux et du type Woolf. On retrouve ces mêmes moteurs dans les deux usines de relais.

Les bassins de filtration de Stralau, au nombre de 11, tant couverts que découverts, présentent une surface totale de 37.760 mètres carrés : l'eau y passe à raison de $0^m,15$ à $0^m,20$ par heure. Ceux du Tegel sont tous couverts ; on en compte 10, d'une superficie totale de 22.000 mètres carrés.

Le réservoir du Windmühlerberg est de forme circulaire ; il a seulement 3.000 mètres de capacité. Celui de Charlottenbourg, bien qu'il ne fasse pas de service direct, a reçu des dimensions beaucoup plus considérables : ses deux compartiments, couverts l'un et l'autre, peuvent contenir 24.000 mètres cubes d'eau. Enfin, le réservoir du haut service (Hochstadt) a une contenance de 1.100 mètres, de sorte que l'approvisionnement total est inférieur à 30.000 mètres.

Au mois de mars 1882, la canalisation présentait un développement total de 525 kilomètres, avec des diamètres variant de $0^m,04$ à $0^m,95$; elle était pourvue de 1.456 robinets-vannes et alimentait 3.762 appareils publics (hydranten).

Depuis que la distribution d'eau a été rachetée par la ville, l'exploitation se fait en régie ; le service est placé sous les ordres d'un directeur et le contrôle d'un conseil composé de membres de la municipalité.

Le service public est rudimentaire : c'est à peine s'il consomme moyennement 8.000 mètres cubes par jour, quoique l'arrosage au tonneau soit appliqué à une surface de 3.400.000 mètres carrés de voies publiques. Mais on ne fait point de lavage des caniveaux, les fontaines publiques sont rares et pauvrement alimentées (en tout 75.000 mètres cubes par an), l'arrosage des pelouses et des plantations dans les promenades publiques fort peu développé (150.000 mètres cubes par an).

Le service privé, au contraire, s'étend à la majeure partie des maisons ; le lavage des cabinets étant d'ailleurs imposé depuis quelques années par les règlements d'assainissement, l'abonnement aux eaux se trouve par là même rendu obligatoire. L'eau est mesurée au moyen de compteurs, du type Siemens et Halske, appartenant à la ville : l'usage de ces appareils a été généralisé depuis le 1er octobre 1878. Le tarif, au mètre cube, est progressif et décroissant ; la concession la plus réduite est de 30 francs pour une consommation annuelle de 80 mètres cubes.

Le produit de la régie des eaux couvre les frais d'exploitation, l'intérêt des dépenses de premier établissement, plus un amortissement industriel, et laisse encore un boni de 650.000 francs. Il est vrai qu'on fait entrer dans le compte la fourniture d'eau faite aux services publics, à raison de 0f,187 le mètre cube.

432. Vienne. — La capitale de l'Autriche avait, dès le seizième siècle, une petite distribution d'eau, mais l'alimentation y est restée extrêmement faible jusqu'en 1836, époque à laquelle fut installé le service, dit de *l'Empereur-Ferdinand*, qui puisait l'eau dans des galeries de captation établies sur la rive du canal du Danube. L'impureté de l'eau obtenue par ce moyen était, trente ans après, reconnue telle qu'on a dû y renoncer absolument, pour recourir aux sources de Kaiserbrunn et de Stixenstein, situées au pied des derniers contreforts des Alpes Noriques, à 80 kilomètres environ au sud de Vienne, dont le produit a été amené par la dérivation des sources hautes, dite de *François-Joseph*, en 1873.

L'eau de ces sources est d'excellente qualité, légèrement calcaire et d'une composition peu différente de celle de la Vanne à Paris, mais plus fraîche encore, puisque, dans la saison chaude, sa température ne dépasse pas 8° à 9°. Malheureusement, ces sources, alimentées par la fonte des neiges, ont sur celles de la Vanne une infériorité grave : leur débit varie dans des proportions bien plus considérables ; ainsi, tandis qu'il s'est élevé parfois, depuis la captation, jusqu'à 250.000 mètres cubes, on l'a vu aussi tomber à 40.000, et dans certains hivers à 25.000, ce qui, pour une population de 750.000 habitants, représente seulement 33 litres par tête ! Pour parer au déficit, on a installé en 1878 des machines, qui puisent l'eau d'une nappe souterraine de la vallée de la Schwarza à Potschach et les élèvent dans l'aqueduc ; mais ce n'est là encore qu'un appoint insuffisant, car les puits ne fournissent jamais plus de 35.000 mètres cubes, et leur débit tombe parfois à 20.000 et même à 15.000 mètres cubes.

La dérivation des sources hautes a une longueur totale de 94.750 mètres, y compris les deux branches qui convergent à Ternitz et amènent séparément jusqu'en ce point le produit des deux sources : les aqueducs d'amenée ont respectivement 22.853 et 6.228 mètres, et le collecteur principal 65.669 mètres. La pente totale, depuis le plan d'eau de la source de Kaiserbrunn jusqu'à celui du réservoir supérieur de Roselhügel, est

de 275m,44, soit 2m,80 environ par kilomètre : cette pente est inégalement répartie sur la longueur de l'aqueduc, dont les sections varient en conséquence, mais présentent toujours un périmètre mouillé de forme

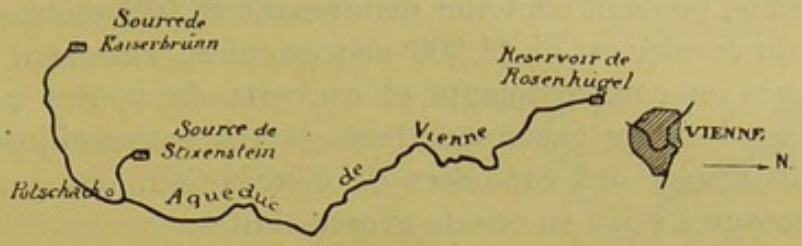


Fig. 540.

rectangulaire et de grandes épaisseurs de maçonnerie. Des souterrains, creusés dans le roc, s'étendent sur les neuf centièmes de la longueur totale de l'aqueduc, soit sur 8.552 mètres. Les traversées de vallées ont toutes été exécutées au moyen de séries d'arcades, à l'exclusion des siphons ; on en compte dix d'une longueur totale de 4.619 mètres, et, en outre, dix ponts occupant ensemble une longueur totale de 586 mètres. Le débit maximum possible est de 140.000 mètres cubes.

Les réservoirs ont été disposés de manière que l'eau ait partout une pression de 28m,40 au-dessus du sol ; et, à cet effet, le réseau de la cana-

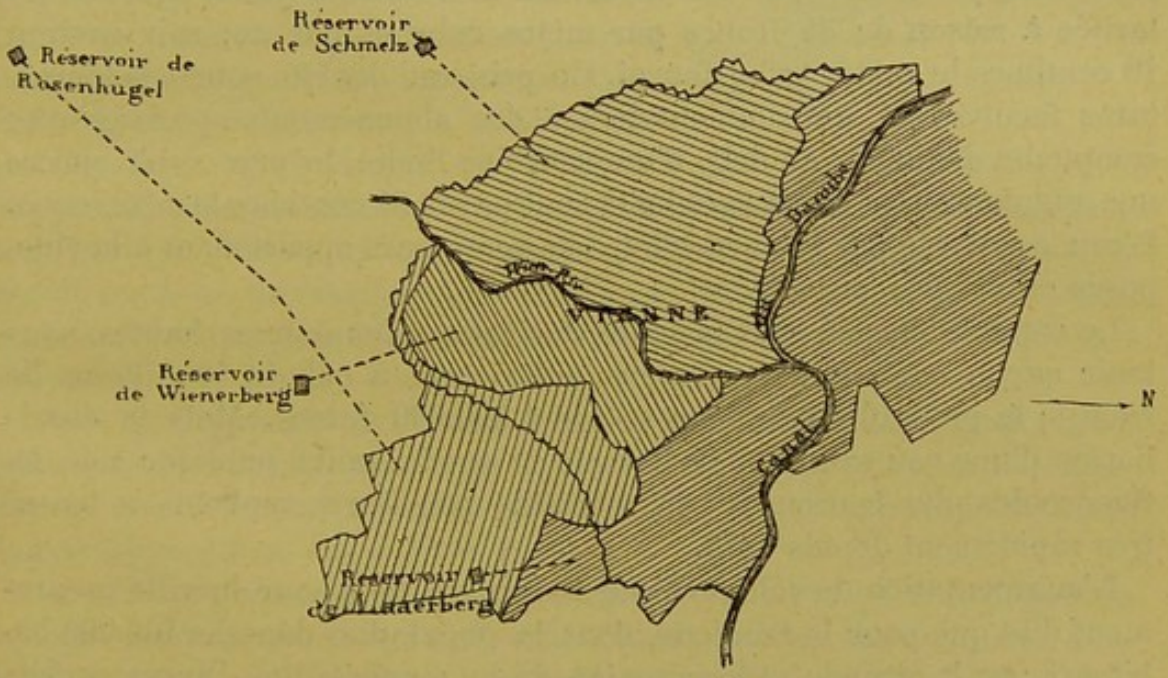


Fig. 541.

lisation a été partagé en deux étages distincts. Les trois réservoirs de l'étage supérieur, ceux de Rosenhügel, de Schmelz et du Wienerberg, sont établis respectivement aux cotes 87m,91, 81m,50 et 80m,90 au-dessus du plan de comparaison : le premier est le réservoir d'arrivée, placé en tête de la distribution ; les deux autres sont des réservoirs d'extrémité, recevant l'eau par l'intermédiaire des conduites de distribution, quand elle n'est pas absorbée en route, et la restituant en cas d'insuffisance.

L'étage inférieur n'a qu'un seul réservoir, au Laarberg, à la cote 50m,60. De ces quatre réservoirs, les trois premiers, qui avaient reçu d'abord une capacité totale de 14.600 mètres cubes et ont été considérablement agrandis depuis, peuvent contenir maintenant 85.000 mètres cubes; la contenance du dernier est de 11.200 mètres cubes. Tous sont en maçonnerie, partagés en compartiments et couverts de voûtes portant une couche épaisse de terre gazonnée. Des clapets automatiques, disposés à l'origine du réseau des conduites de distribution, ont pour effet de barrer le passage à l'eau en cas de grosses fuites.

La canalisation générale atteignait, à la fin de 1879, 336 kilomètres. Les diamètres varient de 0m,055 à 0m,95 ; le plus répandu est celui de 0m,08. On rencontre à Vienne d'anciennes fontaines de puisage, quelques bornes-fontaines et plusieurs fontaines monumentales, dont la plus importante est la grande gerbe devant le palais Schwarzemberg.

Le service public y est assez bien desservi en été, parce que l'eau est alors abondante : les rues sont arrosées au tonneau, la Ringstrasse à la lance; les plantations reçoivent de l'eau trois fois par jour. En hiver, ce service est très réduit, presque totalement supprimé.

L'abonnement est imposé à raison de 34 litres par habitant, avec un minimum, par maison, de 566 litres. La fourniture d'eau obligatoire est tarifée à raison de 34 francs par mètre cube et par an, soit environ 10 centimes le mètre cube fourni. Ce prix est doublé pour les fournitures facultatives, qui donnent lieu à des abonnements spéciaux avec compteurs distincts ; au delà d'une certaine limite, le prix subit encore une augmentation, et les excédents sont payés 34 centimes le mètre cube. L'eau est livrée par l'intermédiaire de compteurs appartenant à la ville, posés et vérifiés par elle.

Le capital dépensé pour la seule dérivation des sources hautes, sans tenir aucun compte des ouvrages antérieurs, a été de 48 millions de francs ; le produit net ne dépasse pas 1.500.000 francs. Mais la distribution d'une eau salubre paraît avoir eu sur la santé publique une influence des plus heureuses : la mortalité par fièvre typhoïde a baissé très rapidement depuis 1873.

L'augmentation du volume d'eau disponible, tant pour la ville proprement dite que pour la banlieue, dont la population dépasse 400.000 habitants, est la grande préoccupation de la municipalité. Divers projets sont en présence; mais les difficultés à vaincre étant considérables, il ne semble pas qu'une solution doive intervenir avant quelque temps. Peut-être, malgré la répugnance manifestée contre ce système à Vienne, en viendra-t-on à y établir, comme à Paris, une double canalisation, afin de réserver l'eau de source à la consommation domestique.

433. New-York[1]. — New-York tire, depuis 1842, son alimentation

1. *Génie civil*, III, 19.

du bassin du Croton, petite rivière qui se jette dans l'Hudson, à 40 kilomètres en amont de cette ville. Une réserve de 2 millions de mètres cubes a été constituée dès l'origine par la création d'un lac de 162 hectares de superficie, obtenu en construisant au milieu de la vallée supérieure du Croton un barrage de 12 mètres de hauteur. L'accroissement progressif des besoins, dû soit à l'augmentation extraordinairement rapide de la population, qui a passé de 300.000 à 1.500.000 habitants, soit à celle de la consommation moyenne, qui, de 95 litres, s'est élevée à 284 litres par tête et par jour, a obligé le service des eaux de New-York à augmenter à plusieurs reprises l'alimentation : au lac du Croton sont venus s'ajouter successivement les lacs de Boyd's Corner et de Rye, la réserve de Kensico, sur la rivière Bronx, affluent de la rivière de l'Est; les quantités d'eau emmagasinées ont atteint 22 milllions de mètres cubes, et l'on a distribué jusqu'à 375.000 mètres par jour. Toutes les additions ayant été reconnues absolument insuffisantes, on a décidé en 1883, et l'on poursuit maintenant des travaux gigantesques, comprenant un nouveau barrage dans la vallée du Croton, à l'aval de l'ancien, de 75 mètres de hauteur, de manière à créer une retenue d'eau de 1.500 hectares, englobant le lac primitif, et capable d'emmagasiner 120 millions de mètres cubes.

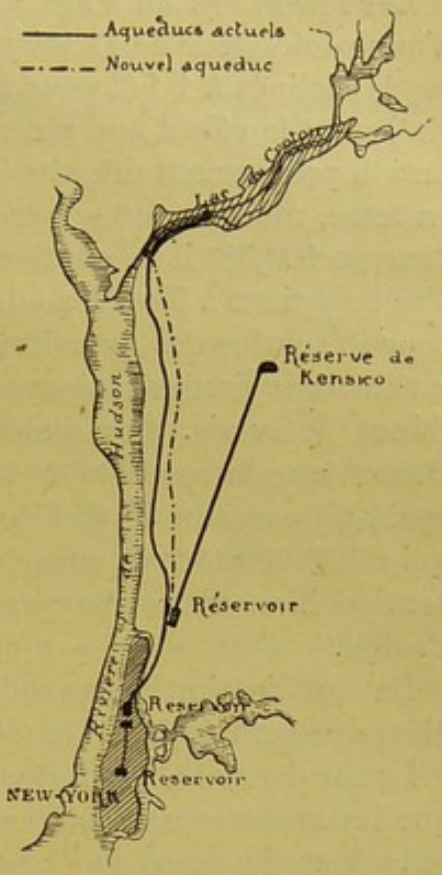


FIG. 542.

L'eau du Croton est de bonne qualité, peu minéralisée, assez claire, grâce à la décantation qui se produit dans les réserves; mais sa température est extrêmement variable (de 1° à 24°), d'où l'énorme consommation de glace qui se fait à New-York.

Cette eau est amenée jusqu'aux réservoirs du Parc Central par un aqueduc en maçonnerie [1], de 65 kilomètres environ de longueur avec $0^{m},21$ de pente par kilomètre, construit sur la rive gauche de la vallée de l'Hudson dont il épouse les sinuosités, tantôt en tranchée, tantôt en souterrain, avec quelques siphons sur le parcours. Pour entrer dans l'île de Manhattan, sur laquelle est bâtie la ville de New-York, l'aqueduc franchit la rivière de Harlem, au moyen d'un pont-siphon formé de grandes arcades en maçonnerie portant trois conduites métalliques dont

1. Voir chapitre IX, fig. 72.

une de $2^m,30$ de diamètre, puis s'engage dans un tunnel de 400 mètres de longueur percé dans le roc dur.

Les réservoirs du Parc Central sont eux-mêmes de véritables lacs, d'une profondeur de 11 mètres, entourés de digues en terre à talus perreyés inclinés à 1 1/2 pour 1, et qui contiennent 4.200.000 mètres cubes. Ils jouent le rôle d'une réserve supplémentaire. Le réservoir de distribution proprement dit, situé à la 5e avenue, a une enceinte également en terre, mais soutenue par un mur en maçonnerie; malgré une profondeur de $10^m,38$, il ne contient que 76.000 mètres cubes d'eau. Le plan d'eau s'y tient à $37^m,21$ au-dessus des basses mers, altitude insuffisante pour le service des quartiers neufs, dont le sol va en s'élevant et où l'on construit de hautes maisons à étages; aussi a-t-on dû installer des machines de relais. Ces quartiers sont desservis en outre par l'eau du Bronx, que la conduite de $1^m,20$ de diamètre venant de Kensico déverse, après un parcours de 25 kilomètres, dans le réservoir de Williams bridge qui a 350.000 mètres cubes de capacité : la portion de cette eau, que le service haut n'absorbe pas, retombe dans le réseau desservi par le Croton.

La canalisation comprend 820 kilomètres de conduites, de diamètres divers jusqu'à $1^m,52$. Elle alimente 6.500 bouches d'incendie.

Le service privé est fait en général à robinet libre, d'où un gaspillage, que les mesures restrictives ne parviennent pas à restreindre, et qui est sans doute la cause de l'insuffisance des ressources dans cette ville, une des plus largement alimentées cependant du monde entier. Les compteurs n'y sont employés que pour les industries et le service des écuries. L'eau vendue au compteur est payée 16 centimes le mètre cube. Les maisons particulières sont taxées à raison de 50 à 75 francs par an pour une longueur de façade de 25 pieds, plus des suppléments pour certains services et pour les étages supérieurs.

Le revenu net de la dérivation du Croton, qui est régie par une administration spéciale, atteint environ 4.500.000 francs. C'est en disposant de ce revenu qu'on a pu entreprendre les travaux actuellement en cours et qui ont été estimés 125 millions de francs. Le nouveau barrage du Croton maintiendra l'eau à une altitude supérieure de 11 mètres, et il en résultera par suite une amélioration sensible de la pression : l'aqueduc, tracé presque constamment en souterrain, aura une section circulaire de $3^m,60$ de diamètre, avec une pente de $\frac{1}{5280}$, soit un peu moins de 0,20 par kilomètre, et pourra débiter, lorsqu'il sera plein, jusqu'à 800.000 mètres cubes par jour; il franchira la rivière de Harlem au moyen d'un siphon noyé.

§ 4.

DISTRIBUTIONS D'EAU DANS QUELQUES VILLES FRANÇAISES

434. Lyon. — Lyon fournit un exemple de distribution d'eau alimentée par ce qu'on a appelé la filtration naturelle. L'eau y est puisée dans les graviers de Saint-Clair, au bord du Rhône, dans des bassins de 1.600 et de 2.200 mètres de superficie et dans une longue galerie de 5 mètres de largeur. Une grande usine élévatoire, dont les machines sont du type de Cornouailles, est chargée de monter cette eau dans les réservoirs, de 10.000 et de 4.000 mètres cubes de capacité, situés respectivement à $50^{m},90$ et $100^{m},90$ au-dessus de l'étiage du Rhône, et commandant l'un le bas service, l'autre le moyen service. Une usine de relais, dite de Saint-Just, installée sur le coteau de Montessuy, à côté du réservoir du service moyen, refoule une portion de l'eau qu'il reçoit de Saint-Clair dans une colonne verticale de 55 mètres de hauteur, d'où elle descend pour traverser la Saône en siphon, et gagner, sur l'autre versant, le réservoir haut, de 1.000 mètres de capacité, établi sur les hauteurs de Fourvières. Le bas service a en outre un réservoir d'extrémité dont la contenance est de 4.000 mètres cubes. Tout cet ensemble d'ouvrages a été conçu et exécuté par M. A. Dumont, ingénieur en chef des ponts et chaussées [1]; il fonctionne depuis 1861.

L'eau fournie par les bassins et la galerie de captation est claire, fraîche, de composition assez satisfaisante. Mais, malgré des allongements successifs des galeries, le débit a été constamment en diminuant, de sorte qu'on est obligé de revenir, pour le compléter, à une prise directe dans le fleuve. Cette situation a jeté le discrédit sur le système, et la ville de Lyon, qui a besoin d'une alimentation beaucoup plus considérable, à cause du développement de la consommation industrielle, semble avoir définitivement renoncé à la demander à l'eau du Rhône prise à Saint-Clair. Aussi lui a-t-on proposé divers projets qui ont pour base soit un emprunt au Rhône dans la partie élevée de son cours, avec aqueduc ou usine hydraulique mue par les eaux de l'Ain, soit l'amenée de sources captées dans un département voisin, soit enfin une dérivation des eaux du lac d'Annecy. Les ouvrages actuels seraient abandonnés et une somme de 20 à 40 millions de francs serait consacrée à l'établissement d'un mode nouveau d'alimentation, capable de fournir 500 à 1.000 litres par habitant.

435. Marseille. — C'est une dérivation d'eau de rivière qui alimente

1. Dumont. *Les eaux de Lyon et de Paris.* 1862.

Marseille. La loi du 4 juillet 1838 a autorisé la construction du canal de la Durance, dont la prise près du pont de Porthuis est située à 187^{m}, 25 au-dessus du niveau de la mer, et aboutit aux Aigalades à la cote 150.

Ce grand et bel ouvrage a pour objet de dériver 3^{mc}, 75 d'eau par seconde, et il peut en porter jusqu'à 7 et 8 mètres : il fait, il est vrai, de l'irrigation sur son parcours. Sa longueur totale est de 81.754 mètres jusqu'à son arrivée sur le territoire de Marseille, sa pente de 0^{m},30 par kilomètre. Dans les parties en tranchée la hauteur d'eau atteint 1^{m},50 et la vitesse 0^{m},84 pour le débit normal de 5^{m},75 par seconde ou 500.000 mètres cubes par 24 heures ; la vitesse atteint 1 mètre dans les parties en souterrain [1]. Il compte 46 souterrains de 18 kilomètres de longueur totale, 11 ponts, parmi lesquels le splendide aqueduc de Roquefavour [2], le chef-d'œuvre de l'ingénieur de Montricher, et 230 ouvrages secondaires.

Malheureusement l'eau fournie par le canal de la Durance est très chargée de limon, et tous les essais tentés pour la filtrer ont été infructueux. On se contente de la clarifier par le repos dans de vastes bassins de décantation, dont l'un, celui de Réaltor, situé sur le parcours du canal, est formé par une digue de 19 mètres de hauteur et 600 mètres de long, et couvre une surface de 75 hectares où s'emmagasinent 4.500.000 mètres cubes d'eau.

A l'arrivée à Marseille le canal se bifurque en deux branches dirigées l'une vers l'Est, l'autre vers l'Ouest. Celle dite de Longchamps aboutit aux réservoirs, que recouvre le jardin zoologique, et d'où partent les grosses conduites maîtresses de la distribution : le trop-plein de ces réservoirs forme la magnifique cascade de Longchamps.

On compte à Marseille 10 fontaines monumentales, 300 bornes-fontaines, 1.700 bouches d'arrosage, et 4.000 branchements de prise.

436. Lille. — L'eau distribuée à Lille est empruntée à des sources basses et relevée par des machines à vapeur.

Les travaux de la distribution d'eau ont été entrepris, en 1867, sous la direction de M. Masquelez, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, qui en a publié une description détaillée [3] ; ils ont été poursuivis depuis lors et seront continués au fur et à mesure des besoins, car le système se prête à une exécution progressive. Les premiers ouvrages ont été mis en service en 1871.

Dès 1863 l'altération de la nappe souterraine, qui avait seule jusqu'alors fourni à la consommation générale, et l'insuffisance de son débit en présence des demandes croissantes de l'industrie, avaient obligé la municipalité à poser le problème de l'alimentation de Lille par

1. Voir chapitre IX, fig. 62.
2. *Ib.* fig. 93.
3. Masquelez. *Ville de Lille : établissement de la distribution d'eau*, 1879.

une distribution d'eau. Le projet d'ensemble qui fut alors adopté comprenait la captation d'une série de sources, dites de Guermanez, Billaut, de la Cressonière, de Seclin et de Benifontaine, situées à des distances variables de la ville, la réunion de leurs eaux dans un aqueduc unique en maçonnerie, l'établissement d'un réservoir bas (cote 16m, 50) à Emmerin, d'une usine à vapeur relevant l'eau dans un réservoir haut (cote 50m) placé en tête de la canalisation et enfin d'un réservoir d'extrémité destiné à y soutenir la pression : il était conçu pour fournir 60.000 mètres cubes par jour, soit 300 litres par habitant.

Les diverses sources ont été captées, sauf celles de Bénifontaine ; les réservoirs bas [1] et haut, prévus avec une capacité de 45.000 mètres cubes, n'en contiennent encore l'un et l'autre que 11.000 ; l'usine a reçu d'abord deux, puis quatre machines à vapeur, horizontales, monocylindriques, commandant directement des pompes Girard ; le réservoir d'extrémité, construit en élévation au-dessus du sol, est en voie d'achèvement. Dès à présent on dispose de 30.000 mètres cubes, et, sur les 7.200.000 francs prévus, on a dépensé environ 5 millions de francs.

La canalisation, en fonte, a été entièrement exécutée avec le joint Delperdange [2], dont on loue beaucoup à Lille la facilité de pose, l'élasticité et l'étanchéité parfaite.

L'eau est livrée à robinet libre pour les usages domestiques, à raison de 15 francs par ménage de deux personnes, avec un supplément de 3 francs par personne en sus. Pour les autres usages elle est fournie au compteur et tarifiée 0f,28 le mètre cube, tant que la consommation est inférieure à 2.000 mètres cubes par an, 0f,14 au delà, puis 0f,06 pour les industries, 0f,05 pour les établissements charitables, 0f,025 pour les hospices, etc.

Dès 1878 les recettes, en y comprenant il est vrai la valeur de l'eau employée au service public, représentaient plus de 5 0/0 de la dépense totale de premier établissement, ce qui est incontestablement un résultat très satisfaisant pour une exploitation en régie.

437. Saint-Étienne. — L'eau d'un torrent, le Furens, desservait autrefois tous les besoins de la ville de Saint-Étienne, mais la contamination de cette eau, qui a été la conséquence du développement industriel de la ville, n'a pas permis de conserver ce mode d'alimentation ; et un décret du 30 avril 1859 a autorisé les travaux d'une distribution d'eau, d'après un projet dû à MM. Graeff et Conte-Grandchamp [3].

Au lieu d'emprunter l'eau nécessaire à la Loire, comme on l'avait proposé, ce projet avait pour base la captation des sources de la haute vallée du Furens, qu'un aqueduc en maçonnerie de 17.385 mètres de longueur, partant de la cote 1.190, devait amener au réservoir de distri-

1. Voir chapitre XI, fig. 207.
2. Chapitre XII, fig. 298.
3. *Annales des ponts et chaussées.* Notice par M. de Montgolfier; 1875, 1er semestre.

bution supérieur placé à la cote 618m,75. La différence d'altitude était rachetée soit par des pentes de 0m,003 à 0m,01 par mètre, soit par des chutes séparant les différents biefs et fournissant une force motrice utilisable pour l'industrie.

L'ouvrage le plus remarquable de la distribution d'eau de Saint-Étienne est le barrage du gouffre d'Enfer, au moyen duquel on emmagasine dans la vallée du Furens 1.600.000 mètres cubes d'eau au moment des crues, dans le triple but de mettre la ville à l'abri des inondations, de fournir aux usines une large compensation de la perte de force résultant de la dérivation des sources, et enfin de suppléer au besoin, en cas de sécheresse, à l'insuffisance de ces dernières pour l'alimentation de la ville.

Le bassin du Rey, placé en tête de la distribution et couvert, contient 7.000 mètres cubes ; il fait, avec deux réservoirs d'extrémité de 11.000 mètres cubes de capacité, le service des quartiers hauts. L'ancien réservoir, dit de Champagne, placé à la cote 556m et de 6.700 mètres de capacité, a été conservé comme bassin régulateur du service bas.

La dépense des travaux, y compris la canalisation, s'est élevée à 4.800.000 francs, dont 4.190.000 francs à la charge de la ville. Dès 1870 le revenu net de l'exploitation en régie atteignait 2 1/2 0/0 du capital. Ce revenu s'est encore accru depuis, tandis que le système se complétait par la création du barrage du Pas de Riot.

L'eau est livrée à robinet libre pour les usages domestiques ; à la jauge pour les autres usages. Dans ce dernier cas elle est tarifée 100 francs par an pour un mètre cube par jour ; le prix décroît quand la quantité augmente et va s'abaissant progressivement jusqu'à 30 francs.

438. Rennes. — La ville de Rennes, qui est située au confluent des deux rivières de l'Ille et de la Vilaine, a terminé il y a peu d'années une distribution d'eau, basée sur la captation des sources de la Minette et de la Loisance, affluents du Coüesnon. Cette solution avait été conseillée par Belgrand, de préférence aux projets basés sur des prises d'eau dans la Vilaine ou dans les graviers de la vallée, sur la création d'étangs, ou sur l'installation d'un double service en eau de source provenant du voisinage pour les usages domestiques et en eau de la Vilaine pour le reste de la consommation.

Les sources, qu'il s'agissait de capter, étaient disséminées dans les terrains granitiques des deux vallées, les unes formant de petites fontaines, les autres de simples suintements. On les a recueillies, sur une étendue de 4.000 hectares, par un système de drainage formé d'une série de pierrées, puis amenées par l'intermédiaire de petites conduites en béton jusqu'à l'aqueduc principal en maçonnerie, dont la portée est de 20.000 mètres cubes par jour. Cet aqueduc a 42 kilomètres de longueur, dont 28 en tranchées, reliefs ou arcades, 5 en souterrains, et 9 en siphons, avec une chute totale de 21 mètres entre l'extrémité du collecteur secondaire et le réservoir du Gallet, établi à la cote 65 pour y recevoir

15.000 mètres cubes d'eau : la section normale en est ovoïde, avec une hauteur de 1m,40 et une largeur de 0m,80 ; les maçonneries ont reçu 0m,15 d'épaisseur. Bien que le décret d'utilité publique n'autorisât que la dérivation de 5.000 mètres cubes par jour, et eût prescrit la construction de réservoirs de compensation et l'allocation d'indemnités aux usagers, la ville de Rennes a porté à 10.000 mètres cubes le volume d'eau qu'elle a détourné de l'arrondissement de Fougères et n'a rien fait pour la réparation du préjudice causé, profitant ainsi de la situation que lui ont assurée des traités passés à l'amiable avec tous les propriétaires, rendant toute expropriation inutile. Les travaux conduits par MM. Lesguillier et Soulié ont coûté environ 4 millions de francs.

L'exploitation du service d'eau de Rennes a été concédée à la Compagnie générale des Eaux, qui a consenti à se charger de la canalisation intérieure et des appareils correspondants : 180 bouches d'arrosage, 50 bornes fontaines, 50 bouches d'incendie pour pompe à vapeur.

439. Versailles. — Ce n'est pas comme un modèle à suivre qu'on doit citer le service d'eau de Versailles, mais bien à cause de l'intérêt historique qu'il présente et de l'originalité des systèmes d'alimentation auxquels on y a eu recours.

D'une part on trouve le système des étangs[1], imaginé au temps de Louis XIV pour fournir de l'eau dans le parc, à défaut de cette énorme dérivation de l'Eure que Vauban avait commencée et qui est restée inachevée. Il se compose d'une série de retenues, créées sur les plateaux qui s'étendent au Sud-Ouest de la ville, et reliées entre elles par un réseau étendu de rigoles, tantôt couvertes, tantôt découvertes, dont le produit est amené par des collecteurs parmi lesquels se trouve celui qui est porté par les arcades de Buc. Il y a encore aujourd'hui huit étangs en service, représentant une surface d'eau de 685 hectares et un cube de près de 8 millions de mètres cubes ; le développement des rigoles n'est pas inférieur à 157 kilomètres, dont 35 en souterrain.

Les eaux blanches, provenant des étangs, ont toujours été considérées comme de qualité fort médiocre et réservées pour l'alimentation des pièces d'eau.

D'autre part la machine de Marly élève les eaux de la Seine. Établie par Colbert en 1675 pour le service du château de Marly, cette usine célèbre a été plus tard utilisée pour la distribution d'eau de Versailles. Modifiée à plusieurs reprises, entièrement transformée et reconstruite en 1856, elle comprend maintenant, dans un vaste bâtiment construit en rivière, six machines hydrauliques mues par une chute d'eau créée sur le petit bras de la Seine. Chacune des machines se compose d'une roue de côté de 12 mètres de diamètre et 4m,50 de largeur, avec 64 aubes, actionnant quatre pompes horizontales à piston plongeur à simple effet. L'eau est

1. *Annales des ponts et chaussées.* Notice par M. Vallés ; 1864, 1er semestre.

refoulée à une hauteur de 150 mètres sur le plateau de Louveciennes, et va s'emmagasiner dans les grands réservoirs des Deux-Portes, où elle se

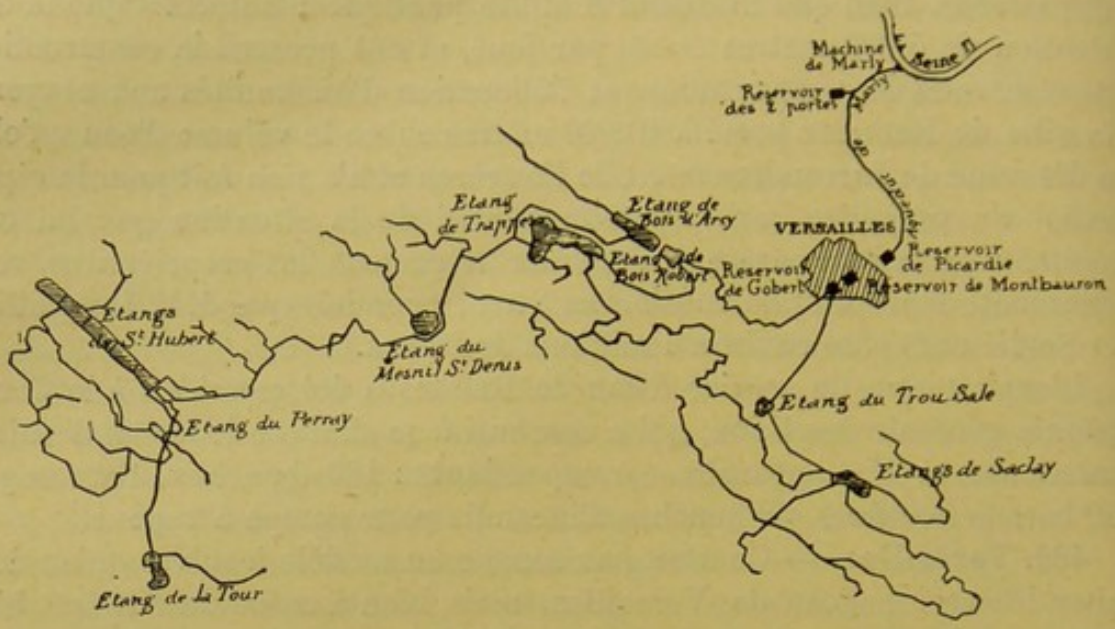


FIG. 543.

clarifie par le repos. Le rendement du système s'est élevé à 51 0/0. Malheureusement la Seine à Marly est tellement contaminée, par les égouts collecteurs parisiens, que l'eau fournie par la machine est au moins aussi insalubre que celle des étangs : pour l'améliorer, on y mélange depuis peu dans une grande proportion l'eau de puits forés jusqu'à la craie supérieure, eau claire, limpide et fraîche, mais très minéralisée (degré hydrotimétrique total 34°, persistant 24°).

La consommation moyenne à Versailles atteint, avec le service du parc, 9.000 à 10.000 mètres cubes par jour pour une population de 46.000 habitants. La moitié provient des étangs, le reste de Marly.

En outre quelques petites sources, dont l'eau est très recherchée à cause de sa qualité supérieure, débitent environ 130 mètres cubes par jour.

440. Grenoble. — Située dans une région montagneuse, où les eaux de bonne qualité ne sont pas rares, la ville de Grenoble vient de se donner une importante distribution d'eau destinée au service privé, après avoir hésité à en faire une beaucoup plus considérable, à très haute pression, qui eût fourni l'eau motrice aux nombreuses industries locales [1].

L'eau qu'on vient d'amener à Grenoble a été empruntée aux sources de Rochefort, situées à 10 kilomètres de la ville, sur la rive gauche du Drac, qui débitent 500 litres par seconde, soit près de 1.000 litres par jour et par habitant. Elle marque 17° à l'hydrotimètre, et sa température est constamment comprise entre 10°,25 et 12°,75.

1. Génie civil, 28 novembre 1885.

Recueillie dans de petites chambres de captation, elle gagne par des tuyaux une chambre de réunion, placée à l'origine de l'aqueduc principal, exécuté en maçonnerie de ciment avec une épaisseur de 0m,20. La section de cet ouvrage a 1m,60 de hauteur et 1m,10 de largeur : le radier est plat, la voûte profilée suivant une ellipse dont le grand axe est vertical. A la traversée du Drac, on l'a remplacé par deux conduites en fonte de 0m,70 de diamètre, logées dans une galerie en maçonnerie établie souterrainement au-dessous du lit du torrent[1], et au delà par des conduites jumelles en béton.

La dépense totale doit être de 2 millions de francs environ, et, malgré l'établissement de nombreuses bornes-fontaines, on compte sur un revenu de 5 0/0. La ville offre gratuitement aux abonnés le branchement et la colonne montante ; le prix de l'eau, vendue au compteur, a été fixé au taux très réduit de 0 fr.055 le mètre cube. Mais le tarif applicable au service domestique à robinet libre est relativement élevé, bien qu'il diffère suivant la valeur locative des locaux habités : une seule personne doit payer 30 francs si elle occupe un logement loué plus de 1.000 francs 24 francs si le loyer est compris entre 1.000 et 300 francs; on percevra en sus 2 francs par personne, 10 francs par robinet supplémentaire ou par cabinet d'aisances, 12 francs par salle de bain, etc.

441. Albi. — On a inauguré, en 1886, le nouveau service de la ville d'Albi, qui est basé sur l'élévation par machines hydrauliques d'une eau puisée dans les graviers du Tarn, eau claire, marquant 18° à l'hydrotimètre, dont la température ne dépasse jamais 19°[2].

Deux puits de 3 mètres de diamètre ont été descendus à l'air comprimé[3] jusqu'à 9 et 10 mètres de profondeur dans l'alluvion de Saint-Juéry, située à 9.800 mètres en amont de la ville. De chacun de ces puits situés en rivière part une conduite d'aspiration de 0,m30 de diamètre en fonte, à joints flexibles, qui gagne la rive; puis les deux conduites se réunissent en une seule de 0m,40 de diamètre pour aboutir aux pompes de l'usine élévatoire, construite à l'extrémité des rochers du Saut-du-Tarn. Dans une construction massive en briques sont logées les deux machines hydrauliques, formées de deux turbines Fontaine utilisant une partie de la chute du Saut-de-Sabo et commandant quatre pompes horizontales Girard pour le refoulement et deux pompes élévatoires dites nourricières pour l'aspiration : elles élèvent 60 litres d'eau par seconde à 75 mètres de hauteur, perte de charge comprise, dans une conduite de 0m,35 de diamètre et 7.600 mètres de longueur, en fonte, avec joints à emboîtement. Le réservoir est couvert et composé de bassins carrés de 25 mètres de côté et 3m,50 de profondeur, de manière à pouvoir contenir 4.000 mètres cubes; il est placé à l'extrémité du réseau, de sorte

1. Voir chapitre IX, fig. 109 et 110.
2. *Annales des ponts et chaussées.* Notice par M. Berget. 1886. 2e semestre.
3. Voir chapitre VII. fig. 27.

que la conduite de refoulement se ramifie pour faire le service en route.

Albi comptant 15.000 habitants, 60 litres d'eau par seconde correspondent à une alimentation de plus de 300 litres par tête. La pression est d'ailleurs en tous les points de la ville supérieure à 20^{m}. La dépense totale s'est élevée, non compris les acquisitions de terrains, les indemnités pour dommages et les frais d'études, à 1 millions de francs. L'amortissement de ce capital et l'entretien représentent une dépense annuelle de 70.000 francs environ : il faudra donc une recette de 5 francs par habitant pour couvrir les frais de l'opération.

Les concessions sont accordées à l'estimation pour le service privé, au compteur pour le service industriel. Le tarif pour les usages domestiques est divisé en deux séries, d'après la cote mobilière des abonnés : l'eau est payée 8 francs par hectolitre dans l'une et 15 francs dans l'autre, avec des abaissements progressifs de prix à mesure que le volume fourni et le minimum de perception augmentent. Le tarif industriel taxe l'eau à 10 francs l'hectolitre, mais une progression décroissante en ramène le prix jusqu'à 5 francs pour un minimum de 240 francs par an.

§ 5

DISTRIBUTIONS D'EAU DANS QUELQUES VILLES A L'ÉTRANGER

442. Manchester. — A la fin du XVIII^{e} siècle la ville de Manchester était alimentée par l'eau puisée dans la rivière Medlock et élevée par des machines; plus tard, une réserve, dite réservoir de Gorton, fut créée vers le sud-est; en 1848 l'administration municipale racheta la concession qui avait été accordée à une compagnie, et entreprit la réalisation d'un vaste programme qui a doté la ville d'un service d'eau très impor-

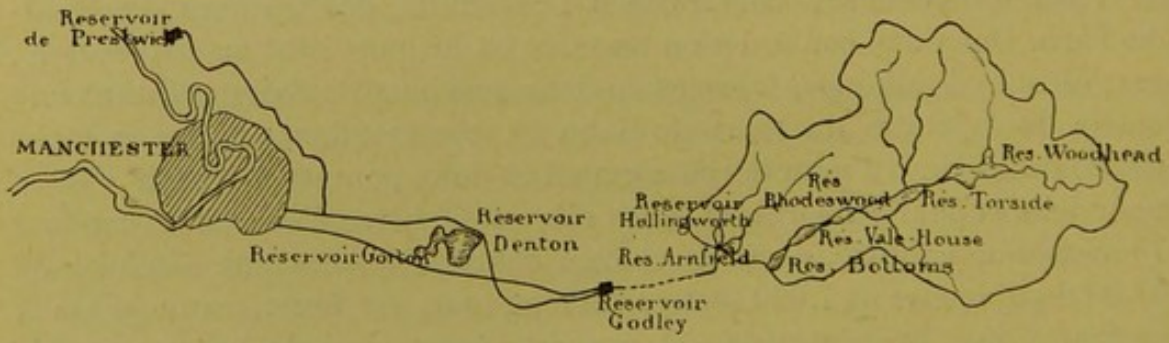


FIG. 544.

tant, continu et à haute pression, dont l'alimentation se fait par de vastes réserves établies dans la haute vallée de la rivière Etherow, affluent de la Mersey.

Ces réserves servent à la fois à l'approvisionnement de la ville de

Manchester et à la compensation nécessaire pour désintéresser les usagers inférieurs : l'eau claire est réservée pour la ville, l'eau trouble abandonnée au cours de la rivière. La capacité utile totale des réserves est de 50.000.000 de mètres cubes environ; elle permet de distribuer environ 80.000 mètres cubes par jour à une population de 1.000.000 d'habitants, dont 800.000 sont dans des maisons abonnées. Cela fait environ 100 litres par abonné, ou, si l'on déduit 1/3 environ pour l'industrie, 65 litres pour les besoins domestiques.

Des réserves l'eau est amenée par un aqueduc, en grande partie souterrain, dans un réservoir de dépôt et de répartition, d'où partent les conduites qui la portent aux deux groupes de réservoirs de distribution construits au sud-est et au nord-ouest de la ville [1].

Ce bel ensemble de travaux a fait la réputation de l'ingénieur Bateman. A la fin de 1882, la totalité des dépenses, y compris le rachat de l'ancienne compagnie et la canalisation en ville, s'élevait à plus de 75 millions de francs. Il est vrai que le revenu atteignait 5 millions.

La quantité d'eau dont on dispose est dès à présent jugée insuffisante, et l'on a projeté de l'augmenter par la création d'une nouvelle réserve de 150.000.000 de mètres cubes, au lac Thirlmere, situé à 180 kilomètres au nord de la ville, dont le plan d'eau, déjà supérieur de 60 mètres à celui des réservoirs, serait encore relevé par un barrage établi en travers du vallon de Saint-James.

443. Amsterdam. — Malgré des conditions topographiques très défavorables, absence complète de sources et de cours d'eau au voisinage, terrains absolument plats sans aucune éminence se prêtant à l'établissement d'un réservoir, Amsterdam a su se procurer un service d'eau qui lui suffit pour entretenir la remarquable propreté de ses rues et de ses maisons.

Un drainage très étendu des dunes de Haarlem a permis de recueillir les eaux pluviales emmagasinées par les sables : c'est un canal découvert de 4 mètres de largeur au plafond et 15 à 16 mètres en gueule, long de 18 kilomètres, qui les amène à l'usine élévatoire construite à 5 kilomètres au sud de la ville de Haarlem. Le débit ne dépasse pas 18.000 à 20.000 mètres cubes par jour; la vitesse de l'écoulement est donc très faible. Néanmoins l'eau est louche, et, avant de l'élever, on la filtre par le procédé anglais, mais sans décantation préalable : cinq bassins, de 14.000 mètres carrés de superficie, dont trois sont toujours en service et deux en nettoyage, sont consacrés au filtrage.

Le système élévatoire se compose de trois moteurs de 150 chevaux nominaux, Compound, à balancier, qui actionnent des pompes à plongeur, à vitesse variable, refoulant dans une cuve métallique, placée à 50 mètres de hauteur, d'où sortent les deux conduites de $0^m,60$ et $0^m,50$

1. Bateman. *History and description of Manchester Waterworks*. 1884.

de diamètre qui portent l'eau en ville après un parcours de 22 kilomètres.

La population d'Amsterdam est de 350.000 habitants. L'alimentation ne dépasse pas 50 litres par habitant pour l'ensemble des services. Bien qu'on y supplée en partie au moyen de quelques emprunts aux canaux pour certains usages spéciaux, il faut assurément, pour s'en contenter, des habitudes toutes particulières et des soins qu'on ne prend nulle part ailleurs.

444. Anvers. — L'importante ville d'Anvers, un des plus grands ports de l'Europe, où la population fixe et flottante compte environ 225.000 âmes, n'avait pas de distribution d'eau avant 1881. Les habitants en étaient réduits à s'alimenter au moyen de puits contaminés par le voisinage des puisards, ou d'emprunts aux canaux à ciel ouvert dont l'eau est salie par la navigation. L'approvisionnement des navires se faisait au moyen de tonneaux et de chalands à des prix exorbitants (jusqu'à 5 francs le mètre cube).

La création d'un service d'eau à Anvers soulevait un problème difficile, car le pays environnant n'offre pas plus de ressources que le voisinage d'Amsterdam. Une compagnie anglaise a entrepris de le résoudre en élevant les eaux de la Nèthe, affluent de l'Escaut, prises à Waelhem, à 18 kilomètres de la ville. Là encore, malgré la précaution de ne puiser l'eau qu'à mi-marée, pour éviter et les eaux détestables du Rupel qui remontent avec le flot et les eaux très impures que roule la Nèthe à l'étiage, on n'est parvenu à obtenir qu'une eau colorée par la tourbe, très chargée de terres et de matières organiques, d'un goût détestable. La clarification, le filtrage au sable ne suffisant pas à la rendre potable, on a eu recours pour l'améliorer à l'éponge de fer, préconisée par M. Bischof et déjà employée à Emden et à Coblentz; le traitement par le fer a eu lieu d'abord dans des bassins de filtration, ensuite par l'intermédiaire des appareils Anderson [1].

L'eau de la Nèthe est reçue dans des bassins de dépôt ; deux vis d'Archimède, inclinées à 30° et mues par deux machines à vapeur horizontales de 12 chevaux de force, la reprennent dans ces bassins et l'élèvent aux filtres à éponge de fer ; elle passe ensuite aux filtres à sable, puis un collecteur la recueille et la conduit dans deux réservoirs en fonte, de 18 mètres de diamètre et 3 mètres de hauteur, établis en déblai et couverts de terre.

C'est dans ces grandes cuves que la puisent les pompes foulantes à piston plongeur, mues par quatre machines à vapeur Compoud à balancier, accouplées deux à deux, qui l'envoient directement dans la conduite d'amenée de $0^m,50$ de diamètre posée entre l'établissement hydraulique et la ville. A son extrémité la conduite d'amenée se divise en deux branches de $0^m,40$ et $0^m,45$ de diamètre, qui alimentent le réseau maillé,

1. Génie civil. III, 611.

de 135 kilomètres de développement, établi dans les voies publiques d'Anvers, et où la pression est maintenue à 5 atmosphères. L'ensemble des ouvrages a coûté 7 millions de francs.

Il y a 1.700 bouches d'arrosage et d'incendie. Les abonnements privés sont à robinet libre ; les fournitures d'eau pour l'industrie et l'approvisionnement des navires sont mesurées au compteur Siemens.

445. Dresde. — Jusqu'en 1875, Dresde n'était alimentée que par ses 3.000 puits et par de petites canalisations fort anciennes, qui, au moyen de conduites en bois, en pierre et en fonte, distribuaient environ 3.000 mètres cubes d'eau par jour à une population de 20.000 habitants, soit 13 litres par tête.

La municipalité entreprit alors l'établissement d'une distribution d'eau unique, destinée à fournir dans toute l'étendue de la ville l'eau puisée en amont dans des galeries et des puits creusés sur le bord de l'Elbe. Les travaux en furent confiés à l'ingénieur Salbach : ils ont coûté près de 10 millions de francs.

Des machines à vapeur élèvent l'eau ainsi obtenue à 60 mètres de hauteur dans un réservoir maçonné et couvert, de 20.000 mètres cubes de capacité, situé à 1 kilomètre de la ville. Leur débit peut atteindre 45.000 mètres cubes par jour, soit 200 litres par tête. Mais la consommation n'a pas dépassé encore 27.000 mètres cubes en 1881. On comptait déjà cependant à Dresde 1.600 appareils publics et 24 fontaines d'ornement, et d'autre part 6.631 maisons sur 7.200 étaient alimentées à robinet libre.

446. Stuttgart. — Stuttgart, dont la population est seulement de 117.000 habitants, a un service d'eau assez compliqué, puisqu'il comporte une alimentation multiple et une double canalisation.

Avant 1874, outre 1.200 puits fournissant de l'eau de médiocre qualité, on y trouvait une petite distribution d'eau filtrée provenant du Neckar, dont la création remontait à 1861, et qui débitait 3.500 mètres cubes, aujourd'hui réservés aux établissements de l'État.

Depuis lors on a été chercher pour le service privé, à des distances variant entre 2 et 6 kilomètres, le produit de diverses sources, qui est amené par l'effet de la gravité dans un réservoir de 500 mètres cubes de capacité. Les 1.650 mètres cubes ainsi obtenus sont distribués à 43 fontaines publiques de puisage, à 110 bornes-fontaines à repoussoir, et à quelques maisons. Les ouvrages, établis sous la direction de M. Ehmann, en 1875, n'ont coûté que 125.000 francs. Mais l'approvisionnement, étant tout à fait insuffisant, va être complété par un emprunt à la nappe de la vallée du Neckar.

L'eau industrielle est distribuée par deux services distincts dans la partie haute et dans la partie basse de la ville. Le premier, qui remonte à 1874 et a coûté 750.000 francs, tire chaque jour 3.000 à 3.500 mètres cubes d'eau de cinq étangs de 26 hectares de superficie et de 700.000 mètres

cubes de capacité, situés à 9 kilomètres de la ville : l'eau est filtrée par le sable vers le milieu de son parcours, et vient s'emmagasiner dans un réservoir de distribution, à deux compartiments, de 2.400 mètres cubes de capacité. Le second, établi en 1882, est alimenté par l'eau du Neckar ; il a coûté 1.850.000 francs et se compose d'un canal de dérivation, amenant l'eau à des bassins de filtration situés à 1 kilomètre de la prise, et de machines hydrauliques et à vapeur capables d'élever 18.000 mètres cubes par jour environ dans un réservoir couvert, partagé en deux bassins, de 9.600 mètres cubes de capacité. L'eau de ces deux services est fournie à 131 bornes-fontaines, à 1.122 appareils d'arrosage et d'incendie (hydranten) et à 2.500 maisons.

447. Naples. — Les nouvelles eaux de Naples ont été mises en service en 1885 par la compagnie française concessionnaire qui en a exécuté les beaux travaux d'après un avant-projet dressé par l'ingénieur anglais Bateman.

Précédemment il n'y avait à Naples, pour une population de plus de 500.000 âmes, qu'une maigre distribution de 17.000 à 25.000 mètres cubes par jour (soit 30 à 50 litres par habitant) alimentée par quelques petites sources locales et par les deux aqueducs de la Bocca et de Carmignano. L'eau était répartie à très faible pression par un réseau inextricable de petits conduits en très médiocre état. Il en résultait une situation particulièrement intolérable sous un climat chaud et dans de mauvaises conditions hygiéniques.

Les ouvrages de la nouvelle distribution ont été conçus sur un plan vraiment grandiose, qui avait pour base la déviation des sources importantes de la vallée du Serino, tributaires de la rivière Sabato. Un seul groupe de sources, celui d'Urcioli, a été capté et il fournit déjà 170.000 mètres cubes par 24 heures d'une eau d'excellente qualité.

Une surface de 30.000 mètres carrés a été sillonnée de drains, qui aboutissent à des collecteurs, débouchant eux-mêmes dans une chambre de réunion en maçonnerie, construite à la cote 321 mètres, en tête de l'aqueduc de 82 kilomètres de longueur qui porte les eaux de Naples.

La première partie de cet aqueduc, depuis les sources jusqu'à la colline de Cancello, est établie en conduite libre maçonnée avec une pente régulière de $0^{m},50$ par kilomètre. La section varie suivant la consistance des terrains traversés ; tantôt ovoïde, tantôt circulaire, tantôt à piédroits verticaux, elle présente toujours une surface mouillée de $2^{mq},80$. L'eau y prend une vitesse de $1^{m},08$ et le débit atteint $1^{m3},95$ par seconde. Sur la longueur totale de 59.500, mètres correspondant à cette première partie, on trouve 14.500 mètres de souterrains, dont un de 3.200 mètres, 20 ponts-canaux développant 1.800 mètres de longueur et dont un seul a 500 mètres et 31 arcades, enfin 2 siphons composés de quatre files de tuyaux en fonte de $0^{m},80$ de diamètre.

Dans la seconde partie, entre la colline de Cancello et les réservoirs,

l'aqueduc traverse une immense plaine basse où il a dû être exécuté entièrement en siphon. Trois conduites forcées en fonte, dont deux de $0^m,80$ et une de $0^m,70$ de diamètre, ont été posées quant à présent, et peuvent débiter 100.000 mètres cubes, soit 200 litres par habitant, ce qui a été considéré comme largement suffisant pour les besoins actuels. Les deux premières conduites, de 18.700 mètres de longueur, jettent 928 litres d'eau par seconde dans un aqueduc libre de 2.400 mètres de parcours qui aboutit au réservoir du bas et moyen service à la cote 92 mètres. La troisième porte 232 litres au réservoir du haut service, à la cote 183 ; la pression y atteint jusqu'à 160 mètres, et il a fallu donner aux tuyaux des épaisseurs exceptionnelles, différentes pour les diverses sections, et dont le maximum est de $0^m,037$.

Les réservoirs, qui contiennent, l'un — celui du haut service — 20.000 mètres cubes, l'autre — celui du bas et moyen service — 80.000 mètres cubes, ont été entièrement creusés dans le tuf et formés de vastes galeries, à grande profondeur au-dessous du sol [1], dont les parois ont été revêtues d'un simple enduit en ciment de Grenoble.

Ils alimentent deux réseaux de conduites dont le développement total est déjà de 100 kilomètres, soit 26 pour le service supérieur et 74 pour le service inférieur.

448. Bucarest. — La ville de Bucarest poursuit en ce moment l'exécution d'une distribution d'eau étudiée de toutes pièces par M. Guilloux, ingénieur en chef des ponts et chaussées, puis par M. Bürkli-Ziegler de Zurich et enfin par M. Lindley, ingénieur en chef de la ville de Francfort.

Elle ne disposait précédemment que de quelques sources sans importance et d'un petit établissement hydraulique spécialement affecté au service de deux promenades publiques. Les puits, assez nombreux, et la rivière Dimbrowitza, qui traverse la ville, fournissaient presque toute l'alimentation.

Le projet définitif a été établi pour le cas d'une consommation moyenne de 120 litres par tête et d'une population de 750.000 habitants ; mais les travaux ne sont exécutés que partiellement et de manière à donner quant à présent 250 litres par tête au maximum pour une population desservie de 180.000 habitants seulement, soit 46.000 mètres cubes.

La canalisation a été étudiée avec le plus grand soin, et formée de grandes artères rayonnantes, avec conduites transversales de répartition, qui constituent un réseau maillé. La ville a été partagée en deux étages, dans chacun desquels on s'est proposé d'obtenir la même pression, 25 mètres au-dessus du sol.

L'eau, empruntée à la rivière Dimbrovitza, mais à 18 kilomètres en

1. Voir chapitre XI, p. 283.

amont de la ville, passe d'abord dans des bassins de décantation, puis sur des filtres à sable, d'où elle se rend dans un aqueduc de 16.476 mètres de longueur qui la conduit jusqu'aux portes de la ville, et composé d'abord d'une conduite libre de $1^m,20$ de largeur, à piédroits verticaux de même hauteur, avec voûte en plein cintre, puis sur les trois derniers kilomètres d'une conduite forcée en béton, de $1^m,20$ de diamètre. A l'extrémité aval de l'aqueduc on a prévu un réservoir, également en béton, de 40.000 mètres cubes de capacité, partagé en huit compartiments, et couvert de voûtes supportant une couche de terre de deux mètres d'épaisseur. La chute totale des filtres au réservoir de Cotroceni est de 13 mètres environ.

L'eau doit être prise dans le réservoir par des machines élévatoires, mues par une chute de la Dimbrovitza, qui a été aménagée, en amont du pont de la Malmaison vers son entrée dans la ville, de manière à fournir une puissance brute de 545 chevaux-vapeur : l'usine où elles sont établies doit renfermer en outre une machine à vapeur de secours de 80 chevaux de force. Ces machines refouleront l'eau soit à 10 mètres de hauteur pour l'étage bas, soit à 28 mètres pour l'étage supérieur, dans de petits réservoirs régulateurs, construits en élévation faute de terrains disponibles à la hauteur convenable.

La dépense totale prévue, d'après l'estimation de l'ingénieur en chef directeur des travaux de la ville, pour l'exécution des ouvrages en limitant les machines et les réservoirs aux proportions actuellement nécessaires, est de 9.250.000 francs. Les travaux de captation et d'adduction des eaux, exécutés en 1883-1884, ont coûté 3.750.000 francs ; la canalisation en ville a été adjugée 3.700.000 francs ; il reste à faire les travaux d'installation des machines et à construire le réservoir régulateur de Jancu.

449. Chicago. — Depuis longtemps Chicago, bâtie au bord du lac Michigan, est alimentée au moyen de l'eau de ce lac élevée par des machines à vapeur.

Il y a vingt-cinq ans, la prise d'eau placée à peu de distance de la rive était déjà reconnue tellement contaminée par le débouché des égouts, qu'on n'a pas hésité à la reporter à deux milles, soit 3.220 mètres de distance, dans les parties profondes du lac.

Les travaux exécutés à cet effet en 1864-1867, ont été conçus en prévision d'une alimentation de 189.000 mètres cubes par jour, ou 50 gallons (189 litres) par habitant, pour une population présumée de 1.000.000 d'âmes. Ils n'ont pas coûté moins de 2.300.000 francs.

Ils consistent en deux puits verticaux, creusés l'un sur la rive, l'autre dans le fond du lac, et reliés entre eux par un canal souterrain établi dans un banc d'argile bleue compacte, à 23 mètres au-dessous de la surface et 12 mètres au-dessous du fond du lac. La section du tunnel est à peu près circulaire ; elle a $1^m,60$ de hauteur et $1^m,52$ de largeur. Le

revêtement est formé de deux rouleaux de maçonnerie de briques. Le puits de la rive est composé d'un cylindre en maçonnerie de $2^m,40$ de diamètre intérieur et $0^m,30$ d'épaisseur, reposant sur trois anneaux en fonte descendus d'abord par havage. Le puits du lac est un cylindre en fonte de $2^m,75$ de diamètre intérieur, qui a été posé à l'abri d'un bâtardeau ou plutôt dans un caisson sans fond, puis foncé par déblaiement à l'intérieur; il est couronné d'un petit phare pourvu d'une cloche-avertisseur pour les temps de brume.

APPENDICE

NOTIONS
SUR
L'ASSAINISSEMENT DES VILLES

CHAPITRE XVIII : *ÉVACUATION DES EAUX NUISIBLES*
CHAPITRE XIX : *ÉGOUTS*
CHAPITRE XX : *ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT*

CHAPITRE XVIII

ÉVACUATION DES EAUX NUISIBLES

Sommaire :

§ 1er. *Généralités.* — 450. Nécessité et conditions de l'évacuation des eaux nuisibles. — 451. Modes primitifs d'évacuation. — 452. Rôle des égouts.
§ 2. *Évacuation des eaux pluviales.* — 453. Eaux des toits. — 454. Tuyaux de chute, branchements, siphons. — 455. Eaux des cours. — 456. Eaux de la rue.
§ 3. *Évacuation des eaux ménagères et industrielles.* — 457. Siphons. — 458. Divers appareils d'évacuation. — 459. Canalisation. — 460. Communication avec l'égout. — 461. Envoi à l'égout des eaux industrielles.
§ 4. *Évacuation des eaux-vannes et des matières de vidange.* — 462. Urinoirs et water-closets. — 463. Vidange des fosses fixes. — 464. Séparateurs ou dilueurs. — 465. Évacuation directe à l'égout. — 466. Canalisations spéciales.

§ 1er.

GÉNÉRALITÉS

450. Nécessité et conditions de l'évacuation des eaux nuisibles. — Nous avons déjà fait observer précédemment que l'eau doit être considérée comme nuisible dès qu'elle s'est chargée de matières minérales ou organiques, soit dans la maison, soit dans la rue, dès qu'elle a servi et qu'elle n'est plus propre aux usages domestiques ou industriels.

Partout, en conséquence, où dans les villes il est fait emploi de l'eau, partout où afflue l'eau de pluie plus ou moins chargée d'impuretés, il y a lieu de disposer les appareils nécessaires pour l'écouler rapidement et l'entraîner au loin.

Il ne faut pas admettre qu'elle reste en aucun point stagnante, exposée aux influences atmosphériques, car des fermentations ne tarderaient pas à se produire et à répandre des émanations désagréables ou insalubres.

Tout doit être disposé encore pour qu'en s'écoulant les eaux usées ne laissent pas derrière elles des dépôts de matières solides, ou si ces dé-

pôts sont inévitables, pour que l'enlèvement en puisse être opéré sans difficulté à des intervalles rapprochés.

En même temps des précautions doivent être prises pour empêcher les gaz résultant des fermentations, l'*air vicié*, de pénétrer dans les appartements, et pour donner au contraire accès partout à *l'air frais*, qui détermine la combustion des matières organiques, atténue les virus, et par son action salutaire contribue efficacement à la transformation de tous les principes nuisibles.

451. Modes primitifs d'évacuation. — Tant qu'il n'a pas été construit d'ouvrages spéciaux pour les recevoir, les eaux pluviales, ruisselant des toits des maisons sur le sol des rues, y prennent d'elles mêmes leur écoulement, en suivant les pentes naturelles, pour se rendre au thalweg le plus voisin. Tantôt leur écoulement est très rapide et produit des ravinements dangereux ; tantôt au contraire il est trop lent, et les terres s'imprègnent, tandis qu'il se forme çà et là des dépôts de matières fermentescibles qui répandent bientôt dans l'atmosphère des odeurs fâcheuses et des émanations malsaines. C'est pour parer à l'un et à l'autre inconvénient qu'on établit des pentes et contrepentes artificielles, qu'on recherche des revêtements imperméables pour les chaussées et les trottoirs, que l'on construit des rigoles ou des caniveaux et qu'on installe des services de balayage ou de nettoiement, afin de régler les vitesses d'écoulement, de protéger le sol contre les infiltrations suspectes, d'empêcher les dépôts ou de les enlever s'ils se produisent. Mais, quelque soin qu'on prenne, si les pentes sont faibles, les eaux très chargées, les parcours considérables, la proportion d'eaux ménagères et industrielles relativement forte, ces moyens ne suffisent pas et le résultat obtenu n'est pas complètement satisfaisant.

En pareil cas les eaux ménagères sont déversées sur la voie publique soit au moyen de vases portatifs, soit par l'intermédiaire de simples tuyaux ouverts par le bas, et où l'on jette le contenu des vases aux divers étages des maisons par les *plombs*, encore trop répandus malheureusement dans nos villes. La valve mobile, qu'on emploie pour isoler le plomb des appartements avec lesquels il fait communiquer le tuyau de chute, n'est jamais étanche : par l'effet de la ventilation naturelle, qui s'établit entre le dehors et le dedans en raison des différences de température, l'air circule de bas en haut dans le tuyau de chute ; vicié au contact des dépôts qui y fermentent, il s'infiltre peu à peu par le pourtour de la valve ; puis, lorsqu'on la manœuvre, il s'engouffre dans toutes les parties de la maison et y répand des odeurs nauséabondes et méphitiques. C'est pis encore quand les tuyaux de chute, au lieu d'aboutir à la voie publique, débouchent dans des *puisards* ou puits à fond perméable, où les eaux se perdent, laissant bien entendu en dépôt les matières dont

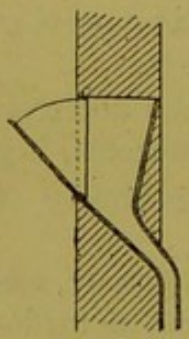


Fig. 545.

elles sont chargées : on crée ainsi au voisinage immédiat des maisons de véritables foyers d'infection, qui empoisonnent à la fois le sol, les eaux souterraines et l'atmosphère.

Trop souvent aussi les eaux-vannes et les matières de vidanges sont recueillies et conservées auprès des habitations dans des *fosses*. Le mal n'est point trop grand quand ce sont des *fosses mobiles*, de faible capacité, qu'on enlève fréquemment pour en déverser à distance le contenu, le plus souvent utilisé comme engrais. Mais il n'en est plus de même quand on a recours à des *fosses fixes* de grande dimension, où les matières séjournent durant des mois ou des années, répandant l'infection dans la maison par les tuyaux de chute, ou dans l'atmosphère par les tuyaux d'évent, au moyen desquels on essaie d'évacuer l'air vicié. Et, malgré leurs inconvénients déjà si manifestes, les fosses fixes sont encore préférables aux *fosses perdues*, à fond perméable, où les matières pénètrent dans le sol même et le contaminent, comme le font les eaux ménagères envoyées aux puisards, mais dans des conditions plus déplorables encore.

452. Rôle des égouts. — La pratique a condamné tous ces moyens primitifs d'évacuation des eaux nuisibles ; l'hygiène les réprouve, et un des grands progrès qu'elle s'efforce de réaliser consiste à les faire disparaître malgré les résistances et les efforts de la routine.

Les divers procédés auxquels on a recours pour les remplacer dans les villes modernes, se rapportent tous à l'emploi d'un réseau de conduits souterrains ou *égouts* qui sont mis en communication d'une part avec la rue pour recevoir les eaux pluviales plus ou moins chargées de détritus, d'autre part avec la maison pour écouler les eaux ménagères et industrielles, et même au besoin les eaux-vannes avec ou sans les matières de vidange, qui en un mot servent à évacuer « tout ce qui est susceptible « d'être entraîné par les eaux[1]. »

Tantôt les égouts sont disposés pour recevoir certaines eaux nuisibles à l'exclusion des autres ; par exemple — et c'est le cas le plus général — les eaux pluviales et les eaux ménagères, mais non les eaux-vannes ; ou bien, suivant le principe du *separate system*, les eaux ménagères et les eaux-vannes, et point les eaux pluviales.

Tantôt, au contraire, ils les reçoivent toutes à la fois et les écoulent ensemble : c'est le *tout à l'égout*, très répandu déjà et qui tend à se répandre de plus en plus, malgré les discussions passionnées dont il a été l'objet.

Certains hygiénistes, tout en admettant l'envoi des eaux-vannes dans les égouts, ne veulent pas qu'elles s'y mélangent aux eaux pluviales et ménagères, et demandent qu'on les y écoule séparément par des *canali-*

1. De Freycinet. *Principes de l'Assainissement des villes*, p. 61.

sations spéciales : c'est ce que M. Vauthier a désigné d'un mot en créant l'expression de *tout par l'égout.*

En vertu des principes que nous avons posés au début, l'écoulement doit se faire vite et bien dans les égouts, sans laisser sur le parcours des dépôts, dont le moindre inconvénient serait de faire obstacle au passage des eaux. D'autre part, toutes les mesures doivent être prises pour que l'air vicié ne puisse s'en échapper et gagner la rue et les maisons, et que, au contraire, un courant continu d'air frais et pur y favorise la combustion des matières organiques.

§ 2.

ÉVACUATION DES EAUX PLUVIALES

453. Eaux des toits. — Les eaux tombées sur les toits des édifices, que nous avons vu parfois recueillir dans des citernes pour l'alimentation, sont en général considérées dans les villes comme des eaux nuisibles, et à juste titre, car elles rencontrent sur la couverture des maisons

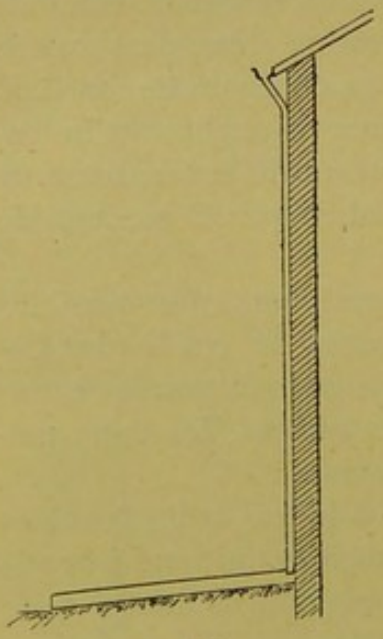


Fig. 546.

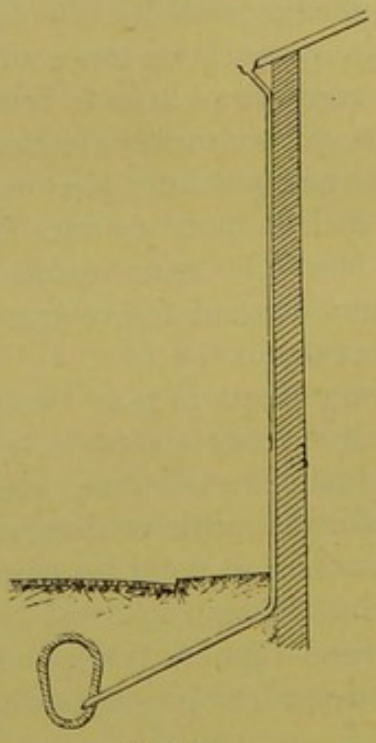


Fig. 547.

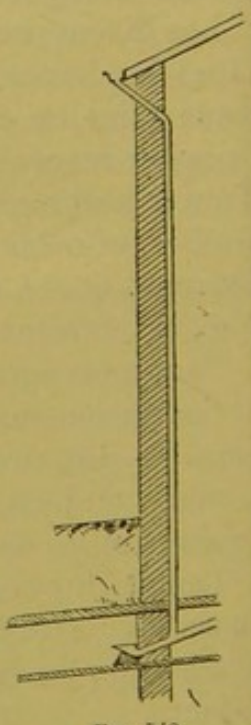


Fig. 548.

et dans les chéneaux une foule d'impuretés, apportées par le vent, provenant des cheminées ou projetées par les habitants eux-mêmes.

Il faut donc les écouler. A cet effet, on dispose des tuyaux de chute, librement ouverts à la partie supérieure dans les chéneaux ou gouttières, et dont les dimensions sont calculées de manière à suffire même pour les

plus grandes pluies. Le pied de ces tuyaux est mis en communication soit avec le caniveau de la rue par une simple rigole, une gargouille ou un tuyau à faible pente noyé dans le trottoir, soit avec l'égout, s'il en existe, par un conduit incliné posé en tranchée ou une galerie normale à l'égout.

Dans le premier cas le tuyau, ouvert de part et d'autre dans l'atmosphère, est naturellement ventilé, toutes les fois qu'un courant d'air s'y établit par suite de l'échauffement dû aux rayons solaires ou à toute autre cause. Dans le second cas, l'atmosphère confinée de l'égout se trouvant mise en relation avec l'air extérieur, c'est un courant d'air vicié qui s'établit dans le tuyau, à moins qu'on ne place à l'extrémité inférieure, au débouché dans l'égout, une occlusion étanche : quand on a recours à ce dernier moyen, il convient, pour rétablir l'aération, de pratiquer une prise d'air frais au niveau du sol.

Le plus souvent les tuyaux de chute se placent à l'extérieur des édifices et sont fixés aux murs de face. Il arrive aussi cependant qu'on les dispose à l'intérieur et même dans l'épaisseur des murs. Les piliers creux des constructions métalliques en tiennent lieu quelquefois.

Pour en prévenir l'obstruction par les corps solides qu'entraînent les eaux, feuilles mortes et autres, il convient de protéger l'orifice supérieur des tuyaux de chute par un grillage.

454. Tuyaux de chute. Branchements. Siphons. — On emploie assez généralement pour la confection des tuyaux de chute la fonte mince en bouts, de longueur variable, s'emboîtant les uns dans les autres, avec joints en ciment. Le fer, le zinc, moins coûteux peut-être, mais plus altérables, ne doivent pas être préférés à la fonte pour cet usage. En Angleterre on recommande d'y consacrer le plomb, dont la durée est plus grande que celle de la fonte et qui a l'avantage de se prêter à l'exécution de tuyaux sans joints ; mais il faut le protéger contre les chocs qui pourraient en déterminer l'aplatissement et il ne s'applique d'ailleurs qu'aux petits diamètres.

Les gargouilles s'exécutent en fonte ; elles reçoivent une section de forme rectangulaire, et présentent sur leur face supérieure une fente longitudinale qui sert à y introduire une râclette pour le nettoyage.

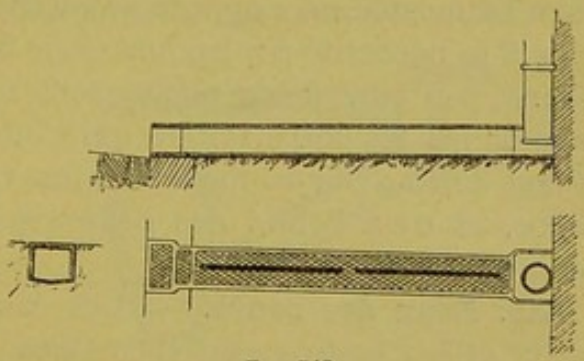


Fig. 549.

Les conduits reliant le pied des tuyaux de chute à l'égout se font soit en fonte mince, soit en grès vernissé, avec joints en ciment. Le grès, à peu près inattaquable par les eaux, quelle qu'en soit la composition, est plus durable que la fonte sans être sensiblement plus fragile. Les déboîtements sont assez fréquents dans les conduits de ce genre, soit que le

sol naturel peu consistant tasse de lui-même, soit que les tassements y soient provoqués par les fuites qui résultent de la moindre imperfection des joints. Cet inconvénient disparaît presque complètement avec les galeries en maçonnerie ou en béton.

L'occlusion, destinée à empêcher l'air vicié de l'égout de s'élever dans le tuyau de chute, est obtenue souvent, particulièrement en Angleterre, au moyen d'un simple clapet (fig. 550), reposant sur un siège légèrement incliné, de manière à rester normalement fermé, mais à s'ouvrir très facile-

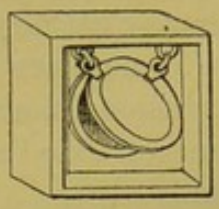


Fig. 550.

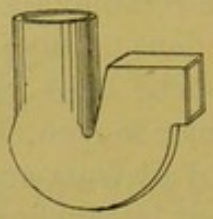


Fig. 551.

ment pour livrer passage à l'eau lorsqu'il s'en présente. Ce système, suffisant dans bien des cas, est évidemment imparfait car il ne peut assurer une fermeture étanche. Aussi vaut-il mieux disposer sur le parcours du tuyau de communication avec l'égout, un peu en amont du débouché, un *siphon* ou *coupe-air* hydraulique (fig. 551), qui s'oppose absolument au passage de l'air vicié, à la seule condition qu'il soit toujours garni d'eau : si cette condition est remplie le siphon donne d'excellents résultats. Comme l'eau est exposée à disparaître, soit par évaporation lente, soit par entraînement, dans le cas où il se produit des différences de pression de part et d'autre, on doit avoir soin d'en assurer le renouvellement d'une part, et d'empêcher, d'autre part, les effets du siphonnage en pratiquant sur le tuyau à l'amont du siphon une ouverture destinée à le ventiler. Cette dernière précaution, en mettant l'air confiné du tuyau en communication directe avec l'atmosphère, s'oppose aux variations de pression : elle satisfait de plus à la nécessité d'introduire l'air frais dans le tuyau de chute. Les siphons, par leur forme même, sont exposés à être obstrués par des dépôts ou par les corps solides qui s'introduiraient dans le tuyau de chute : il faut donc avoir le moyen de les visiter et de les nettoyer de temps à autre, et c'est l'objet des petits *regards* dont on doit avoir soin de les munir.

455. Eaux des cours. — Les eaux pluviales qui tombent dans les cours et les jardins sont recueillies par des caniveaux à ciel ouvert et conduites jusqu'à de petites bouches recouvertes d'une grille en fer ou en fonte, où elles se précipitent, pour s'écouler ensuite souterrainement jusqu'à l'égout voisin. Il convient d'éviter tout dépôt de matières fermentescibles dans les bouches, au-dessous des grilles, afin de ne pas s'exposer à des émanations fâcheuses ; à cet effet, on doit combiner ces appareils de manière à faciliter l'entraînement par les eaux de toutes les

matières solides dont elles sont chargées. Si ce résultat ne peut être obtenu faute de pente dans les conduits, et si, pour empêcher l'obstruction des tuyaux, il faut se résigner à établir de petites chambres de dépôt sous les grilles, on doit tout au moins en opérer fréquemment le curage, afin d'atténuer les inconvénients de cette disposition.

L'interposition d'un siphon, destiné à empêcher le passage de l'air vicié provenant de l'égout, est ici beaucoup moins nécessaire que pour les tuyaux de chute, car la hauteur à laquelle se trouve l'orifice par rapport

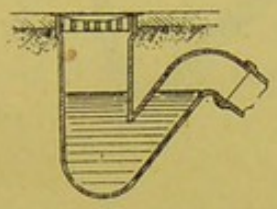


Fig. 552.

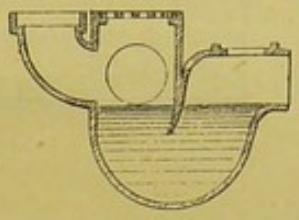


Fig. 553.

à l'égout, est trop faible pour déterminer un appel énergique dans le conduit de communication, et les bouches sont d'ordinaire assez éloignées des habitations pour qu'un dégagement fortuit d'air vicié, à un moment donné, puisse passer inaperçu. Aussi, dans certains cas, ne place-t-on pas de siphon au-dessous de chaque grille; on peut alors en disposer un après la réunion d'un certain nombre de conduits, à l'origine ou sur le parcours du conduit principal (*fig.* 553).

456. Eaux de la rue. — Sur la voie publique les eaux pluviales, rejetées vers les caniveaux par le bombement des chaussées et la pente des trottoirs, y prennent leurs cours et gagnent la bouche d'égout voisine, par où elles se précipitent directement dans l'égout, non sans s'être chargées de tous les détritus de la rue, poussières, boues, fumiers, et sans avoir reçu au passage les eaux résiduaires des maisons si elles en rejettent encore dans la rue.

Au temps des chaussées à deux revers pavés, avec caniveau central, la bouche d'égout consistait en un orifice, fermé par une grille, placé au

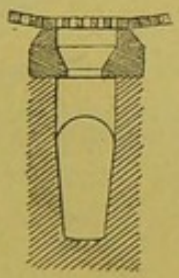


Fig. 554.

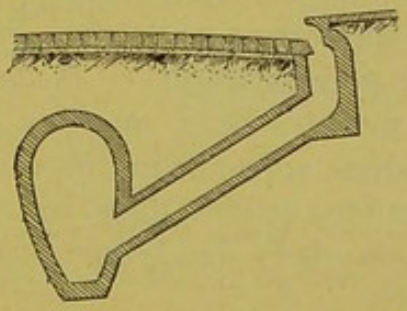


Fig. 555.

point bas du caniveau, et directement au dessus de l'égout, construit lui-même dans l'axe de la rue (fig. 554). L'inconvénient le plus grave de ce système était la facilité avec laquelle la grille était obstruée par les pailles et autres corps entraînés, qui, parfois, en venaient à barrer tout passage à l'eau.

Depuis que les chaussés à deux revers ont été remplacées par les chaussées bombées, bordées de deux trottoirs surélevés, la bouche d'égout est formée par une ouverture verticale pratiquée dans la bordure du

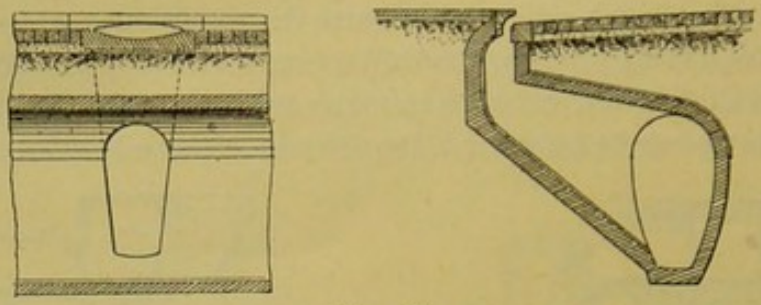


Fig. 556.

trottoir ; l'eau passe sur une bavette, établie au-dessous d'une partie de la bordure convenablement échancrée, et se déverse dans un tuyau de chute relié à l'égout, ou dans un branchement en maçonnerie (fig. 555 et 556) ; la pente doit d'ailleurs être toujours suffisante pour que les corps solides, ordures, sables, etc., soient entraînés immédiatement.

Lorsque ces corps solides sont en quantité considérable, ils rendent le curage des égouts difficile, et quelquefois on en évite la projection, en disposant au-dessous des bouches une cavité destinée à les recueillir. Mais les dépôts ainsi obtenus ne tarderaient pas à fermenter et à répandre des odeurs désagréables, si l'on n'avait soin de procéder à des nettoyages très fréquents ; il convient par suite de ne recourir à ce système que dans les cas où l'application en est réellement indispensable. A Paris on reçoit dans les égouts les boues, les sables, la neige, etc. ; c'est seulement en quelques points spéciaux, notamment aux abords des Halles centrales, où les débris végétaux sont très abondants, qu'on a songé à disposer dans les bouches d'égout, un peu au-dessous de la bavette, un panier qui retient ces détritus, et qu'une trappe mobile permet d'enlever facilement, pour le vider, tous les deux ou trois jours au plus. A Londres, au contraire, on évite d'une manière générale la projection des matières solides dans les égouts ; le crottin est ramassé à la main et déposé dans des bornes creuses disposées à cet effet au bord des trottoirs.

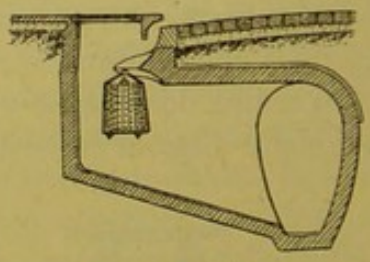


Fig. 557.

Les bouches d'égout, librement ouvertes dans l'atmosphère, mettent l'air confiné de l'égout en relation directe avec l'air extérieur ; et il s'y produit des courants, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, ordinairement si faibles qu'ils agissent à peine sur l'anémomètre, mais qui prennent un peu plus d'intensité quand le thermomètre ou le baromètre viennent à subir de brusques variations. C'est alors que des odeurs fâcheuses

s'échappent quelquefois des bouches d'égout; et, pour les éviter, on a imaginé divers systèmes de fermeture, à trappe, à bascule, ou à interposition d'eau, qui jouent exactement le rôle des clapets ou des siphons au pied des tuyaux de chute. L'emploi de ce genre d'appareils rencontre ici un obstacle dans la nécessité d'assurer une ventilation constante des égouts, surtout lorsqu'ils sont visitables et que des équipes d'ouvriers sont appelées à y séjourner; s'il se généralisait, il faudrait substituer à la ventilation naturelle, obtenue par le moyen des bouches, un système de ventilation artificielle, à la fois efficace et sûr, et, parmi ceux qui ont été essayés, il n'en est point jusqu'à présent qui donne des résultats satisfaisants.

§ 3.

ÉVACUATION DES EAUX MÉNAGÈRES ET INDUSTRIELLES

457. Siphons — Aux points où il y a lieu d'assurer l'évacuation des eaux ménagères et industrielles, on doit disposer en général d'une sorte de cuvette destinée à recevoir ces eaux, d'un orifice en communication avec un tuyau d'écoulement, et d'un mode d'occlusion s'opposant aux rentrées d'air vicié.

Le mode d'occlusion constitue la partie délicate de l'appareil. C'est d'ordinaire un *siphon* hydraulique, d'une simplicité élémentaire en théorie, mais qui exige dans la pratique des soins particuliers et une construction soignée d'après une forme rationnelle, si l'on veut que le fonctionnement en soit assuré, et que l'entraînement total ou partiel de l'eau interposée ou *siphonnage*, ne s'y produise pas. A cet effet, la *plongée* P doit être suffisante, et un petit tuyau de ventilation doit mettre en communication le tuyau d'écoulement avec l'air extérieur, pour empêcher la production des phénomènes de dépression et de surpression qui pourraient avoir pour effet, soit la perte de la plongée, c'est-à-dire la disparition même du système d'obstruction, soit des rentrées d'air vicié par grosses bulles à travers le siphon, avec ou sans projection de l'eau.

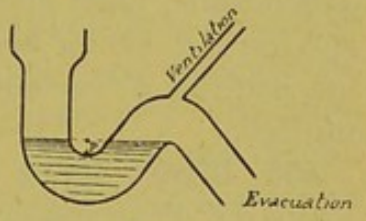


FIG. 558.

La forme en D (fig. 559), qui a été et qui est encore bien souvent donnée aux siphons, est défectueuse, parce que la plongée y est presque toujours très faible, que le tuyau amenant l'eau dans le siphon pénètre dans le liquide et se trouve par là-même exposé, aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur, aux effets destructeurs des eaux acides; qu'enfin la vérification et le nettoyage en sont assez malaisés. La forme en U (fig. 560)

et surtout celle en S (fig. 561) sont assurément préférables ; le nettoyage des siphons de l'un et l'autre type s'obtient fort bien par une simple chasse,

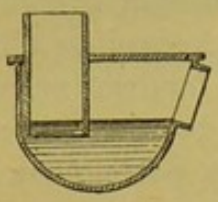


Fig. 559.

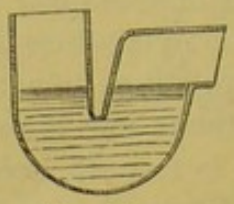


Fig. 560.

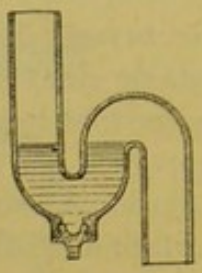


Fig. 561.

parce que les dépôts ne peuvent s'y former comme dans le siphon en D.

Il faut s'attacher à n'employer pour la confection des siphons que des matériaux inattaquables par les eaux qu'ils doivent servir à écouler. Le fer et la fonte doivent donc être rejetés. Le grès est très bon si l'on n'a pas à craindre la désagrégation du ciment qui en remplit les joints. Le plomb fondu est encore supérieur au grès, et depuis peu on a réalisé dans la fabrication des siphons en plomb de remarquables progrès qui auront sans doute pour effet d'en répandre de plus en plus l'emploi. Tout siphon doit être muni d'un tampon de visite ; dans la disposition en D il est placé au-dessus, et en dessous dans celle en S.

L'inconvénient des siphons est la disparition inévitable de l'eau par évaporation quand on cesse d'en faire usage pendant quelque temps : dans une maison inhabitée tous les siphons sont bientôt vides et l'air vicié ne tarde pas à rentrer par tous les orifices d'évacuation. Pour parer à cet inconvénient on peut avoir recours à des chasses automatiques, qui font passer de l'eau dans les siphons à intervalles réguliers ; mais il en résulte une dépense d'eau assez considérable. Un autre moyen, moins satisfaisant, mais plus économique, consiste dans l'emploi de tampons spéciaux, à vis au besoin, au moyen desquels on ferme complètement les orifices d'évacuation pendant le temps où l'on ne doit pas les utiliser.

458. Divers types d'appareils d'évacuation. — Le type général de l'appareil d'évacuation, du *vidoir*, doit répondre, pour être complet, aux conditions suivantes : présenter une cuvette de forme telle que les vases en usage dans la localité puissent y être vidés très aisément, sans déterminer de projections, et construite en matériaux qui ne puissent être attaqués par les eaux nuisibles qu'on y écoulera ; être muni d'un siphon bien disposé, et d'un trop-plein siphonné lui-même et ventilé tout comme l'orifice principal.

Suivant les usages spéciaux auxquels sont affectés certains orifices, ils doivent en outre recevoir des dispositions appropriées.

Ainsi les *éviers*, qui servent à l'écoulement des eaux grasses des cuisines, seront construits en matériaux lisses et inaltérables, le bois en

devra être absolument écarté, et la forme en sera telle qu'aucune stagnation ne s'y puisse produire. Le siphon correspondant présentera un moyen commode de visite, car il est exposé aux engorgements par l'accumulation des graisses ; on évitera notamment la *bonde siphoïde* ou siphon à cloche, encore très répandu malgré sa plongée insuffisante, la lenteur de l'écoulement, et la fréquence des obstructions qui en résultent, et que les cuisinières lèvent bien souvent, supprimant ainsi toute occlusion hydraulique. On recommande d'installer dans les très grandes cuisines un réservoir destiné à recueillir les graisses et à prévenir de la

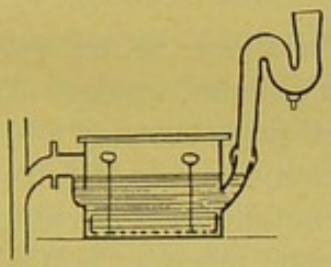


Fig. 562.

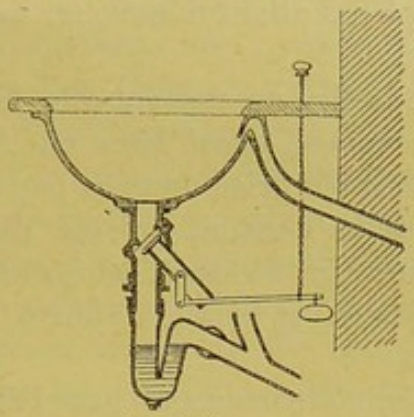


Fig. 563.

sorte l'obstruction des conduits (fig. 562) ; les dépôts doivent être, bien entendu, enlevés à intervalles réguliers.

Les eaux savonneuses des cabinets de toilette, des lavabos, des bains exigent des précautions analogues. Chaque appareil doit avoir un système de vidange indépendant de l'arrivée d'eau propre, avec un siphon bien disposé et ventilé, très facile à visiter et à curer, car les obstructions y sont aussi fort à redouter. Le départ des eaux provenant des lavabos et des bains devrait s'effectuer aussi rapidement que possible, afin de produire dans les tuyaux de chute des chasses qui ne seraient pas sans utilité : quand cette condition est remplie, il faut que la plongée du siphon soit assez grande pour éviter le siphonnage auquel il est alors exposé plus que jamais. Là encore tout ce qui entoure l'appareil d'évacuation doit être exécuté en matériaux imputrescibles et d'un nettoyage facile.

459. Canalisation. — Entre les orifices d'évacuation établis dans les divers locaux dépendant d'une maison et le conduit extérieur qui doit recevoir les eaux usées, il y a lieu de disposer un système de *canalisation*, dont l'installation doit appeler tous les soins de l'*ingénieur sanitaire* ou de l'*architecte de salubrité*, titres nouveaux qui s'appliquent à une fonction également nouvelle, car on n'avait jusqu'alors attaché à la tuyauterie d'évacuation des eaux qu'une importance tout à fait secondaire, et l'on commence à peine à lui accorder l'attention qu'elle mérite.

En principe, cette canalisation doit écouler les eaux nuisibles très rapidement, sans établir de communication, entre l'égout et la maison d'une part, entre les divers locaux de la maison d'autre part; elle doit

être disposée de manière qu'il ne s'y forme aucun dépôt de matières fermentescibles et qu'il y circule toujours un courant d'air frais. Ces diverses conditions sont remplies, quand les conduits, verticaux ou fortement inclinés, sans coudes brusques ni points bas intermédiaires, sont séparés complètement par des siphons et des appareils d'évacuation et des tuyaux de communication avec l'égout, quand ils reçoivent l'air pur par des ouvertures établies vers le bas et l'évacuent par l'extrémité supérieure librement ouverte dans l'atmosphère, quand enfin on a eu soin de disposer parallèlement une petite canalisation spéciale pour la ventilation des siphons allant déboucher avec la première ou séparément au-dessus du toit.

Il faut dire en passant que bien peu d'installations, même parmi les plus récentes, aussi bien en Angleterre qu'ailleurs, malgré l'avance considérable prise dans ce pays pour tout ce qui concerne l'assainissement de la maison, ont été disposées de manière à satisfaire à ces diverses conditions. C'est à s'en rapprocher autant que possible qu'on doit tendre, et tous les efforts faits dans ce sens méritent d'être encouragés.

On emploie beaucoup pour l'établissement des canalisations intérieures les tuyaux en fonte mince ou en grès vernissé avec joints en ciment. Ils ont cependant certains inconvénients : la fonte est facilement attaquée et bientôt rongée dans nombre de cas ; la poterie assez fragile est exposée à des ruptures, et les joints ne sont pas toujours assez étanches pour ne pas livrer passage à l'air vicié qui peut de là se répandre dans les appartements. Les spécialistes anglais recommandent de préférence le plomb, au moyen duquel on exécute des conduites sans joints ou avec des joints parfaits ; la dépense est sans doute un peu plus grande, mais on la ramène à des proportions très admissibles en limitant les diamètres au strict nécessaire, en les proportionnant mieux qu'on ne faisait naguère aux quantités d'eau à écouler, ce qui a d'ailleurs l'avantage de réaliser presque à coup sûr le nettoyage automatique des tuyaux où toute évacuation d'eau produit une sorte de chasse ; les obstructions n'en seront pas plus fréquentes, pourvu qu'on renonce à la déplorable habitude, prise dans bien des localités, de projeter des objets solides par les orifices d'évacuation des eaux ; les siphons y mettent au reste déjà un premier obstacle.

Les conduites d'évacuation se placent le plus souvent contre les murs et à l'intérieur des maisons. On recommande en Angleterre de les rejeter plutôt au dehors, ce qui ne souffre pas de difficulté dans les cours ou courettes tout au moins ; en effet, si un joint vient à s'ouvrir, les gaz s'échappent alors non dans les appartements, mais à l'air libre, et ils sont par suite beaucoup moins à redouter.

Des *chasses* d'eau pure, venant à intervalles réguliers laver les parois des tuyaux, entraîner les dépôts, rétablir la plongée des siphons,

sont un utile complément dans toute installation pour l'évacuation des eaux nuisibles, quand il est possible de s'en procurer. De nombreux systèmes fonctionnant soit à volonté, soit automatiquement, ont été proposés pour la production de ces chasses : nous en avons indiqué quelques uns au chapitre XV.

460. Communication avec l'égout. — La canalisation intérieure conduit les eaux usées hors de la maison ; il reste à les diriger vers l'égout. La communication entre cette canalisation et l'égout se fait par un tuyau ou une galerie maçonnée.

Quand on a recours à un tuyau, et c'est le cas le plus général, on se borne à prolonger le conduit intérieur de la maison sous la voie publique, en lui donnant une pente suffisante, et à le faire déboucher dans l'égout, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un clapet ou d'un siphon. Le tuyau doit être solide, afin de ne pas s'écraser sous les charges qu'il peut avoir à supporter ; il ne doit rien laisser échapper par les joints, si l'on ne veut pas risquer de contaminer le sol ou la nappe souterraine : la fonte mince, les poteries, qu'on utilise presque toujours pour l'exécution de ces conduits, ne donnent pas toute sécurité à cet égard, et il serait préférable de les construire, comme les conduites d'eau, en fonte épaisse avec joints en plomb.

Les galeries maçonnées, plus coûteuses sans aucun doute, peuvent du moins rendre en même temps d'autres services. C'est ainsi qu'à Paris les *branchements d'égout*, ou *égouts particuliers*, sont utilisés non seule-

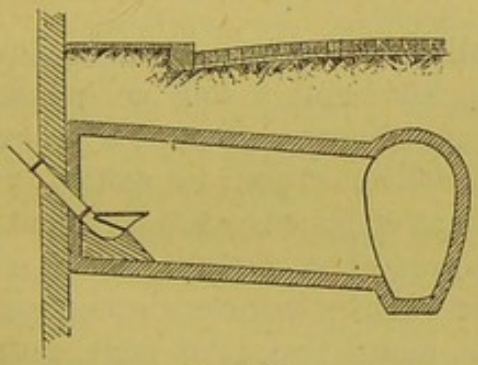


Fig. 564.

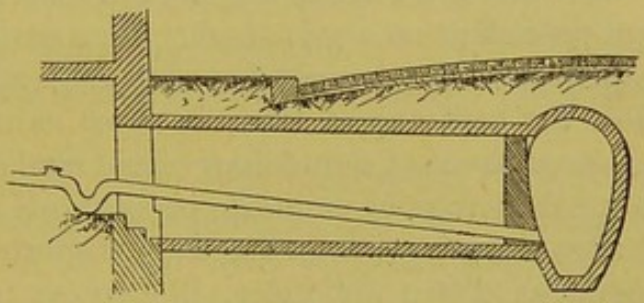


Fig. 565.

ment pour l'évacuation des eaux usées, mais encore pour la pose des branchements d'eau, des fils téléphoniques, etc. : ces branchements constituent, à proprement parler, une sorte de prolongement de l'égout jusqu'à la maison même. Jusqu'en ces derniers temps ils se terminaient en impasse contre le mur de face et la canalisation intérieure y venait déboucher par l'intermédiaire d'un siphon de pied en forme de *gueule de cochon* (fig. 564). Mais la plongée de ce siphon est tout à fait insuffisante, et il arrive fréquemment qu'un très faible abaissement du plan d'eau ou une dénivellation résultant de la moindre différence des pressions de part et d'autre y livre passage à l'air de l'égout. Puis, malgré le soin qu'on a pris de ménager toujours un gradin entre le radier du branchement et

celui de l'égout, à chaque crue produite par les pluies, l'eau de l'égout s'étale nécessairement dans le branchement et y laisse, quand elle se retire, des dépôts exposés à la fermentation et qu'il faut venir enlever à grands frais.

Pour éviter la formation de ces dépôts, on vient d'autoriser à Paris le report du mur pignon du branchement au droit du piédroit de l'égout, de sorte que le branchement est ouvert du côté de la maison et fermé vers l'égout, contrairement à ce qui se faisait précédemment (fig. 565). Il ne constitue donc plus un prolongement de l'égout vers la maison, mais devient un prolongement des caves jusqu'à l'égout. Il faut alors y poser un conduit prolongeant la canalisation intérieure d'évacuation, qui va déboucher à l'égout en traversant le mur pignon : un siphon est interposé sur le parcours. La galerie a changé de rôle ; elle ne sert plus elle-même à l'évacuation et se transforme en une enveloppe commune à tout ce qui fait communiquer l'égout et ce qu'il renferme avec l'intérieur de la maison.

Quand l'égout est soumis à la ventilation naturelle et que les conduits, ou galeries de communication, sont disposés de façon que l'air de l'égout ne puisse pénétrer dans la canalisation intérieure de la maison, il n'y a aucune précaution à prendre pour la ventilation de ces conduits. Mais, s'ils sont isolés et de la maison et de l'égout, il devient nécessaire de les ventiler eux-mêmes et d'établir à cet effet des tuyaux spéciaux montant verticalement jusqu'aux toits. S'ils débouchaient librement dans un égout ventilé par un système artificiel, il faudrait aussi disposer un semblable tuyau d'évent.

461. Envoi à l'égout des eaux industrielles. — Dans les paragraphes qui précèdent on s'est attaché plus particulièrement à tout ce qui se rapporte à l'écoulement des eaux ménagères et à l'évacuation de ces eaux hors des habitations. Pour les eaux industrielles, et pour les usines qui les produisent et s'en débarrassent également en les envoyant à l'égout, il y a évidemment moins de précautions à prendre en général ; et s'il est à recommander néanmoins de se conformer à toutes les prescriptions qui viennent d'être indiquées, il n'en est pas moins vrai qu'on peut, dans bien des cas, se contenter de les appliquer en partie seulement.

Mais, d'autre part, les eaux industrielles sont très souvent de telle nature qu'on ne saurait, sans des inconvénients sérieux, les admettre dans les égouts avant qu'elles aient subi un traitement spécial destiné à les rendre inoffensives. Ainsi, les eaux chaudes provenant des purges des machines à vapeur, de la vidange des générateurs, ou des bâches de condensation, pourraient élever la température de la masse d'eau circulant dans l'égout au point d'en rendre la visite et le curage impossibles, y répandre des torrents de vapeur, détériorer les enduits, et l'on est obligé d'en interdire presque toujours l'évacuation directe à l'égout si elles n'ont pas été préalablement refroidies à 30° tout au moins. De même les eaux acides produiraient sur les maçonneries des effets désastreux,

et les hommes chargés du curage auraient à souffrir de leur présence ; il faut donc les neutraliser. Les eaux très chargées de résidus organiques, de substances fermentescibles, susceptibles de donner lieu dans l'égout à des phénomènes de décomposition qui auraient pour conséquence la diffusion de mauvaises odeurs ou la production de gaz méphitiques, doivent aussi être épurées dans les usines par des procédés appropriés avant d'y être admises.

§ 4.

ÉVACUATION DES EAUX-VANNES ET DES MATIÈRES DE VIDANGE

462. Urinoirs et water-closets. — Quel que soit le mode d'évacuation des eaux-vannes et des matières de vidange, on conçoit qu'il est encore plus nécessaire ici que dans le cas des eaux ménagères d'établir une occlusion parfaite entre la canalisation où on les jette et l'intérieur des appartements. Les appareils qu'on utilise pour cet usage doivent donc être l'objet d'un soin tout particulier.

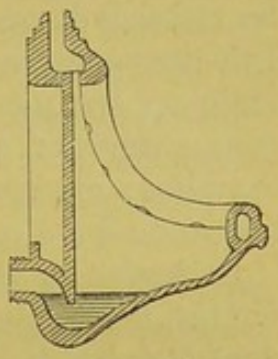


Fig. 566.

C'est encore le siphon hydraulique qui donne la sécurité la plus complète.

Il s'applique très simplement aux urinoirs à cuvette en porcelaine ; la cuvette elle-même peut être construite de manière à former siphon, ou bien l'on interpose sur le conduit d'évacuation un siphon en U ou en S, analogue à ceux des lavabos.

Pour les water-closets, les clapets munis d'un contrepoids et fonctionnant à volonté ou automatiquement, actionnés ou non par une poignée ou un tirage, sont encore fort usités en France. Ce genre d'appareil ne donne pas sans doute une fermeture aussi étanche que le siphon ; mais, par contre, il conserve en tout temps son efficacité relative, et, si la

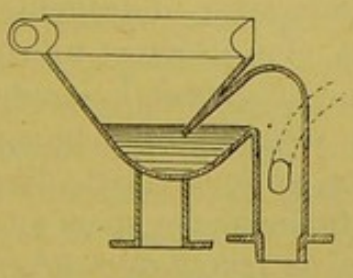


Fig. 567.

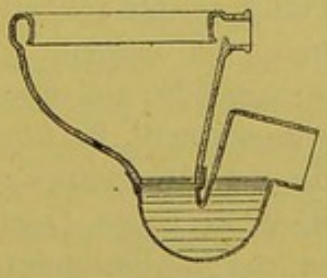


Fig. 568.

maison est momentanément abandonnée, on n'a pas à craindre la mise en communication complète des appartements et des conduits d'évacuation, qui se produit avec le siphon hydraulique dans le cas où l'eau s'é-

vapore. Quoi qu'il en soit, le remplacement des clapets par des siphons est un progrès ; et, partout où l'on dispose d'eau en abondance, il convient de le recommander. Le siphon peut faire corps avec la cuvette (fig. 567) ; il peut aussi être rapporté (fig. 558), et, dans ce dernier cas, on l'exécute soit en grès, soit en plomb ; la visite doit toujours en être très facile, et l'on ne doit pas négliger de le ventiler.

Quant aux tuyaux de descente, il faut les disposer de manière à satisfaire exactement aux conditions précédemment indiquées pour les tuyaux d'évacuation des eaux ménagères, y éviter toute possibilité d'émanation par les joints et tout dépôt à l'intérieur, les établir quand on le peut en dehors de la maison, les ventiler efficacement, et y produire, s'il y a moyen, des chasses d'eau pure à intervalles rapprochés.

463. Vidanges des fosses fixes. — *Les fosses fixes,* dont nous avons déjà signalé les graves inconvénients, sont encore extrêmement répandues, malgré le danger d'infection qui résulte du dépôt prolongé de matières essentiellement fermentescibles dans la maison même, malgré les chances de contamination du sol par les fissures de maçonneries, de l'air des appartements par les tuyaux mal joints ou les sièges béants, de l'atmosphère même par les tuyaux d'évent. Ces fosses reçoivent des eaux-vannes et des matières excrémentitielles jusqu'à ce qu'elles soient remplies ; on procède alors à l'enlèvement de la masse, et c'est cette opération qui a reçu le nom de *vidange*.

Le travail de la vidange, dangereux et répugnant, répand des odeurs fétides, même quand on a le soin de projeter d'avance des désinfectants dans la fosse. Il comporte la circulation d'un matériel immonde, tonnes montées sur roues avec ou sans pompe à bras ou à vapeur, wagons et bateaux-citernes, etc. Il coûte cher et provoque par suite la *guerre à l'eau* dans la maison, car toute addition d'eau augmente le cube à enlever et en diminue la valeur comme engrais.

Les matières provenant des fosses sont parfois employées directement pour la culture ; en Flandre on pratique l'*épandage* de l'engrais humain sans préparation préalable. Ailleurs on déverse ces matières dans de vastes bassins, appelés *voiries* ou *dépotoirs*, d'où, après un séjour plus ou moins long, on les extrait pour leur faire subir un traitement qui les transforme en un engrais plus riche et plus aisément transportable : à l'ancien procédé au moyen duquel on produisait la *poudrette,* on a substitué récemment la fabrication du *sulfate d'ammoniaque*, pour laquelle de grandes usines ont été créées, notamment en divers points de la banlieue de Paris. Quelques perfectionnements qu'on ait prétendu y apporter, ces établissements sont encore de redoutables foyers d'infection ; depuis longtemps, Paris a mis à l'étude les moyens de se débarrasser de la voirie de Bondy et de la ceinture de dépotoirs et d'usines qui lui envoient trop souvent leurs effluves nauséabonds.

464. Séparateurs ou dilueurs. — Pour diminuer les inconvénients

de la vidange, on a proposé d'établir dans les maisons qui bordent les rues pourvues d'égouts des appareils, dits *séparateurs* ou *dilueurs*, dont l'objet est, soit de retenir les matières solides, soit de les diluer en grande partie et de laisser écouler à l'égout les liquides plus ou moins chargés.

Ces appareils ne sont autre chose que de petites fosses ou *tinettes*, généralement en métal et de formes appropriées à l'usage auquel on les destine; on les place dans un caveau maçonné, et ils se relient d'une part au tuyau de chute, d'autre part avec le conduit d'évacuation. Comme ils ne retiennent qu'une fraction assez faible des matières qui y tombent, le remplissage en est relativement lent; et, quand il devient nécessaire de les enlever, l'opération se fait vite et ne répand presque pas d'odeur.

Avec un pareil système il n'est plus question de la guerre à l'eau, puisque les liquides s'écoulent sans frais à l'égout; rien n'empêche dès lors de disposer la canalisation intérieure comme il a été indiqué plus haut, de la munir de siphons hydrauliques, etc. Mais, d'autre part, les matières recueillies sont à peu près sans valeur, et presque tout ce qui est utilisable va se perdre dans l'égout. Puis, si la surveillance n'est pas bien active, les enlèvements parfaitement réguliers, il peut se produire de ces débordements qui constituent l'inconvénient général des fosses mobiles, et qui souillent non seulement le caveau où sont placées les tinettes, mais le tuyau de chute et la maison tout entière.

Séparateurs ou dilueurs ne sont, comme on l'a dit à juste titre, que « l'hypocrisie du tout à l'égout » ; la commission d'assainissement, réunie à Paris en 1882-1883, n'y a vu qu'un « mode imparfait d'écoule- « ment à l'égout. » En effet, sans réaliser l'éloignement immédiat, l'entraînement hors de la maison de toutes les matières fermentescibles, ils envoient déjà dans l'égout la majeure partie des substances azotées qui proviennent des tuyaux de chute : ce qu'ils retiennent est à peu près sans valeur et suffit néanmoins pour empoisonner parfois la maison.

465 Évacuation totale à l'égout. — Aussi, quand on dispose d'un égout, vaut-il mieux à coup sûr en profiter pour y jeter aussi bien les matières excrémentitielles que les eaux-vannes et les eaux ménagères. De cette façon la maison se trouve immédiatement et complètement débarrassée de la totalité des résidus organiques, que l'intérêt de la salubrité commande d'en éloigner au plus vite, et, si l'on prend d'ailleurs les mesures convenables pour isoler les tuyaux de chute et en assurer le nettoyage et la ventilation, on se trouve avoir satisfait à toutes les prescriptions qu'impose sur ce point l'hygiène de l'habitation.

Il est vrai que la difficulté se trouve reportée un peu plus loin : si ces matières ainsi jetées hors de la maison devaient séjourner sur la voie publique, si l'égout était transformé lui même, comme on l'a dit, en

une immense fosse fixe, on n'aurait en réalité assaini l'habitation qu'au détriment des voies publiques, et la salubrité urbaine n'y aurait rien gagné. C'est ce qui arriverait au cas où l'on pratiquerait l'évacuation totale dans des égouts à faible pente et presque sans eau, peu ou point curés, non susceptibles en un mot de rendre le service qu'on leur demanderait. Pour obtenir des résultats satisfaisants, il faut que les matières fermentescibles ne séjournent point dans l'égout de même que dans les tuyaux de chute; or cela suppose ou un courant d'eau continu, rapide et abondant, ou, avec un écoulement d'eau moindre, l'organisation d'un curage systématique, complété par des chasses fréquentes d'eau pure s'opposant absolument à la formation des dépôts.

Sans doute cette condition n'est pas toujours remplie, et cela explique les craintes exprimées par les adversaires du système de l'évacuation directe. Mais du moins, quand elle l'est, ce qui arrive assez souvent, l'envoi des matières à l'égout constitue le mode d'enlèvement le plus satisfaisant au point de vue de l'hygiène générale. Londres, Bruxelles, Danzig, Berlin, Francfort-sur-le-Mein, et un très grand nombre de villes en Angleterre et dans divers pays ont appliqué le système du tout à l'égout et n'ont eu qu'à s'en féliciter : presque partout on a constaté que l'établissement de ce système avait été suivi d'une diminution notable de la fièvre typhoïde et d'une réduction de la mortalité.

466. Canalisations spéciales. — Quand le réseau d'égouts ne présente pas dans une ville les conditions favorables dont l'existence est nécessaire pour l'application du système de l'évacuation directe, il ne paraît pas impossible de réaliser néanmoins pour les habitations les avantages qui résultent ailleurs de l'emploi de ce système, c'est-à-dire la suppression de la vidange et l'éloignement immédiat des eaux-vannes, au moyen d'une *canalisation spéciale* placée en terre ou en égout.

Depuis que ces questions sont à l'ordre du jour divers types de canalisations de ce genre ont été successivement proposés.

Nous ne nous arrêterons pas ici à celui du colonel Waring, qui est plutôt un système d'égouts à petite section et qui reçoit aussi bien les eaux ménagères que les eaux-vannes, n'excluant que les eaux pluviales [1].

Mais nous citerons le système Liernur, dont un essai a été fait dans un des quartiers d'Amsterdam. Des conduits spéciaux, placés dans les rues, sont reliés directement aux waters-closets et aux urinoirs; aux carrefours sont disposés des réservoirs en fonte, où des machines installées à quelque distance déterminent une aspiration; en mettant ces réservoirs alternativement en communication avec les conduits qui reçoivent les eaux et les matières provenant des maisons, et avec les pompes aspirantes, on détermine l'écoulement des matières, des maisons aux

1. Voir au chapitre XIX.

réservoirs et des réservoirs aux usines : là elles sont reprises, chargées dans des bateaux et transportées à distance pour l'emploi direct ou pour la transformation en poudrette. Il n'est pas besoin d'entrer dans plus de détails pour montrer que ce système doit être assez dispendieux, puisque l'écoulement ne se fait point par le simple effet de la pesanteur et qu'une aspiration mécanique est constamment nécessaire ; aussi l'inventeur a-t-il cherché à limiter la quantité d'eau employée dans les water-closets. Ce seul fait condamne le système qui, très probablement, ne recevra guère de nouvelles applications.

Le système Berlier est également basé sur l'emploi de machines aspirantes, mais qui agissent d'une manière continue pour entretenir un vide relatif dans tout l'ensemble de la canalisation. Les réservoirs, au lieu d'être placés aux carrefours des rues, sont répartis dans les maisons, et c'est un clapet automobile qui est chargé de fermer ou d'ouvrir

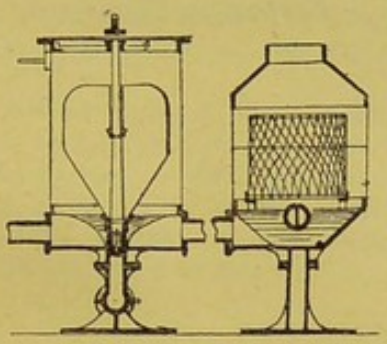


Fig. 569.

quand il y a lieu la communication entre la conduite de la rue et le réservoir. Cet appareil constitue la partie vraiment originale du système : le clapet proprement dit, en caoutchouc, est surmonté d'un flotteur, qui se soulève, lorsque le réservoir étanche où il est renfermé se trouve rempli jusqu'à un niveau déterminé ; en avant du réservoir est située une sorte de tinette-filtre, où débouche le tuyau de chute, et dans laquelle un panier métallique retient les corps solides non dilués, papiers et autres ; une manivelle permet de donner de l'extérieur un mouvement de rotation au panier afin de faciliter la dilution, et de temps à autre on procède à l'enlèvement des corps solides qui s'y sont accumulés. Cette simple description montre qu'il s'agit là d'un véritable dilueur, qui conserve une partie des inconvénients de ce genre d'appareils. D'autre part la valeur des matières, noyées dans une masse d'eau considérable, devient si faible que le traitement aux usines de réception n'en serait pas rémunérateur et que ces usines représenteraient une dépense fort lourde sans compensation réelle. Aussi, quoique les essais du système Berlier aient bien réussi, faut-il le considérer non comme une solution appelée à se généraliser, mais comme un expédient auquel on aura peut-être recours dans certains cas particuliers.

Dans le système Shone, l'écoulement est produit par l'intervention de

l'air comprimé. Les matières tombent dans un petit réservoir disposé dans la maison au pied du tuyau de chute; un siphon qui s'amorce à un certain moment les fait passer alors dans la conduite publique, et de là elles vont se réunir a d'autres dans un réservoir de plus grande capacité; elles en sont extraites ensuite par l'action d'un éjecteur à air comprimé, dont le fonctionnement intermittent est réglé par un flotteur, et qui les jette dans une canalisation spéciale. Fort ingénieux, mais beaucoup trop compliqué pour entrer dans la pratique courante, ce système ne saurait comme le précédent, trouver d'applications que dans des cas tout à fait spéciaux, car « il ne faut pas de mécanique, pas d'horlogerie dans les « appareils généraux d'évacuation des immondices..... L'assainissement « d'une ville ne doit pas être suspendu parce qu'un levier ou un contre- « poids fonctionne mal, parce qu'un tuyau se brise ou s'obstrue [1]. »

1. Durand-Claye (Alfred). — *Rapport au Congrès de Vienne*, 1887.

CHAPITRE XIX

ÉGOUTS

Sommaire :

§ 1er. *Différents systèmes d'égouts.* — 467. Rigoles. Utilisation des petits cours d'eau. — 468. Égouts proprement dits. — 469. Galeries. — 470. Système séparé.
§ 2. *Réseaux d'égouts.* — 471. Étude des conditions locales. — 472. Choix des types. — 473. Dispositions générales des égouts. — 474. Tracé d'un réseau. — 475. Dispositions particulières.
§ 3. *Sections des égouts de divers types.* — 476. Égouts non visitables. — 477. Égouts visitables. — 478. Grands égouts. — 479. Matériaux employés.
§ 4. *Curage et ventilation des égouts.* — 480. Différents modes de curage. — 481. Appareils de curage. — 482. Appareils de chasse. — 483. Ventilation.
§ 5. *Ouvrages accessoires.* — 484. Regards. — 485. Chambres de dépôt. — 486. Débouchés en rivière. — 487. Débouchés à la mer.

§ 1er.

DIFFÉRENTS SYSTÈMES D'ÉGOUTS

467. Rigoles. Utilisation des petits cours d'eau. — Dans tous les pays, le type d'égout primitif a consisté en une simple rigole, en un fossé découvert, dans lequel on a conduit les eaux pluviales et ménagères; Berlin n'en connaissait pas d'autres il y a quinze ans, Berne s'en contente encore. Souvent aussi un petit cours d'eau a été peu à peu transformé en égout par les riverains, qui ont pris l'habitude d'y déverser toutes les eaux résiduaires : tel est, par exemple, le cas de la Bièvre à Paris.

Il n'est sans doute pas besoin de faire ressortir tout ce qu'il y a de défectueux dans l'une et l'autre pratique. Ces égouts à ciel ouvert, à parois en terre, où l'écoulement est lent, l'évaporation considérable, où les dépôts se font un peu partout, offusquent à la fois la vue et l'odorat et peuvent souvent compromettre la santé publique.

La transformation d'un cours d'eau en égout est chose particulièrement regrettable; car l'eau qui y coule, bientôt contaminée, ne peut plus rendre aucun service, et aux abords le sol et la nappe souterraine ne

tardent pas à être empoisonnés. Partout où il en est temps encore, on doit s'opposer à cette transformation; et là où il est trop tard, s'il faut s'incliner devant le fait accompli, du moins peut-on en atténuer les fâcheuses conséquences en faisant du lit du cours d'eau un égout véritable, en maçonnant le fond et les parois, en recouvrant le tout d'une voûte; c'est ce qu'on a compris à Paris, il y a fort longtemps déjà, quand, de l'ancien ruisseau de Ménilmontant, on a fait l'égout de ceinture, devenu aujourd'hui partie intégrante du collecteur des coteaux; à Bruxelles, tout en bordant la Senne de deux égouts latéraux, on l'a fait couler dans un lit maçonné et couvert dans la majeure partie de son trajet à travers la ville.

468. Égouts proprement dits. — On doit réserver plus particulièrement le nom d'*égouts* aux conduits souterrains, destinés à l'écoulement des eaux nuisibles.

Pour remplir convenablement leur office, ces conduits doivent être placés suffisamment bas pour recevoir toutes les eaux provenant des rues et des habitations, avoir des parois parfaitement imperméables et demeurer sans communication aucune avec la nappe, afin de ne pouvoir contaminer le sol ni les eaux souterraines. Ils doivent présenter des formes arrondies, des surfaces lisses et des pentes assez rapides pour que les immondices n'adhèrent pas aux parois et ne forment pas de dépôts sur le radier, ou, à défaut, être disposés de manière que l'enlèvement continu des dépôts puisse être assuré par un curage périodique. Ils doivent enfin offrir une portée suffisante pour débiter en tout temps la totalité des eaux qui peuvent y être envoyées, sans qu'il y ait de débordement à craindre, et aboutir en un point convenablement choisi pour les déverser là où elles ne peuvent plus nuire.

Le plus souvent les égouts ont leur débouché dans une rivière, dans un grand cours d'eau, parfois dans un lac ou dans la mer. Certaines localités moins favorisées, où les rivières n'ont qu'un débit insuffisant, ont dû créer des débouchés artificiels : tel est le cas de Berlin ou de Roubaix et Tourcoing, où l'on a été obligé de recevoir les eaux d'égout dans des usines chargées de les élever et de les refouler à distance pour débarrasser la Sprée et l'Espierre qu'elles empoisonnaient.

Les dimensions des égouts sont nécessairement très variables suivant l'étendue des bassins à desservir et l'importance des quantités d'eau à écouler. Parfois, en vue d'éviter des ouvrages trop dispendieux, on a pris le parti de limiter leur débit aux grandes pluies ordinaires, et de ne pas les calculer pour les averses exceptionnelles; des déversoirs ont été alors disposés de distance en distance pour rejeter au dehors, les eaux surabondantes en cas d'orage. Ailleurs, au contraire, au lieu de limiter leur section au strict nécessaire, on l'a augmentée afin d'y permettre l'introduction plus facile des engins de nettoyage ou même de les rendre entièrement visitables de telle sorte que le

curage y puisse être effectué partout à la main ; à Paris, par exemple, les plus petits égouts, les dernières ramifications du réseau, sont d'un type assez grand pour qu'un homme y puisse circuler debout. Il est manifeste que, lorsqu'on prend ce dernier parti, on arrive plus aisément à tenir les égouts en parfait état, mais cet avantage se paie cher ; et, dans bien des villes, où l'on ne dispose pas de ressources suffisantes, il vaudra mieux à coup sûr se résigner à construire des égouts de petite section non visitables que de n'en point établir. Les Anglais l'ont ainsi compris, et c'est sans doute une des raisons qui ont contribué à développer dans leur pays la construction des égouts, qu'on a pu dès lors aborder dans de très petites villes, dans des villages même, sans demander aux populations des sacrifices au-dessus de leurs forces. Berlin vient de créer de toutes pièces un système d'égouts, dont les artères secondaires sont de simples tuyaux d'assez faible diamètre ; de la sorte il a été possible d'aller vite et le réseau y est maintenant relativement plus étendu qu'à Paris, où l'on avait pris cependant une énorme avance.

469. Galeries. — Quand les égouts deviennent de véritables *galeries* de circulation souterraines, il vient naturellement à l'esprit d'en étendre l'usage, de les utiliser, non plus seulement pour l'écoulement des eaux nuisibles, qui, en temps ordinaire, n'occupent qu'une très faible partie de la section, mais pour d'autres services auxquels ils se prêtent alors à merveille.

En première ligne il convient de citer la pose des conduites d'eau, qui s'y trouvent à l'abri des tassements auxquels elles sont exposées lorsqu'on les établit en tranchée, dont l'entretien, la surveillance, les réparations, les modifications, deviennent beaucoup plus faciles, les fuites et les déboîtements moins redoutables. On n'a point réussi jusqu'à présent à placer également en égout les conduites de gaz, à cause des dangers d'asphyxie et d'explosion qui résulteraient du dégagement inévitable d'une certaine quantité de gaz dans une atmosphère limitée. Mais on y a établi des canalisations d'eau comprimée pour la transmission de la force motrice, d'air comprimé ou raréfié pour le même usage ou pour la transmission pneumatique des dépêches, des câbles électriques pour le télégraphe, le téléphone, l'éclairage ou le transport de la force à distance. Il a même été question de s'en servir pour l'enlèvement des ordures ménagères solides, des tinettes filtrantes, etc...

Dans ces conditions, les égouts se trouvent prendre un rôle beaucoup plus important ; ils constituent une sorte de voie publique souterraine, dont l'utilisation débarrasse la voie superficielle de plus d'une cause de gêne et d'encombrement. C'est l'adoption générale de ce système qui a fait de l'ensemble des égouts de Paris une œuvre sans rivale.

Pour approprier les égouts à des fonctions aussi multiples, il faut y faciliter la circulation, en construisant les radiers plats, ou mieux en

disposant des *banquettes* latérales aux *cunettes* servant à l'écoulement des eaux en temps ordinaire ; il faut aussi donner aux sections une largeur suffisante pour que les conduites, câbles électriques, etc..., ne gênent point le passage, choisir pour la confection des maçonneries des matériaux tels que les scellements s'y puissent faire sans trop de peine et donner toute sécurité, faciliter l'accès par de nombreuses ouvertures pourvues de moyens de descente, maintenir enfin l'atmosphère constamment respirable par une ventilation parfaite et par l'interdiction d'envoyer à l'égout les eaux résiduaires qui pourraient produire un dégagement de vapeur ou de gaz de mauvaise nature.

470. Système séparé. — Lorsque, loin de se proposer de répondre à tant d'exigences, on cherche au contraire à réduire la dépense au minimum en se contentant de faire l'indispensable, on peut être conduit à donner la préférence au *système séparé*, dont le principe est l'exclusion des eaux de pluie.

En limitant, en effet, le débit des égouts aux eaux ménagères et industrielles, additionnées ou non des eaux-vannes et des matières de vidange, c'est-à-dire à un afflux presque régulier, ou soumis du moins à des variations très limitées, on peut en restreindre considérablement les proportions. L'obligation qu'on s'impose d'ordinaire d'écouler les eaux pluviales même en temps d'orage conduit seule aux grandes sections ; et, si l'on peut s'en affranchir en profitant de circonstances topographiques favorables pour laisser ruisseler ces eaux à la surface du sol, ou si l'écoulement en est assuré convenablement par ailleurs, rien n'empêche d'admettre des conduits de très faible section. Dès lors, on réalise une grande économie sur les travaux, et l'on peut trouver encore une ressource dans le traitement ou la vente des eaux d'égout, qui, n'étant plus diluées dans une masse énorme d'eaux pluviales, conservent une valeur plus sérieuse comme engrais.

Il y a là incontestablement une idée qui peut donner lieu à d'heureuses applications, comme celle si remarquée qu'en a faite naguère à Memphis (États-Unis) M. le colonel Waring.

Ce ne peut être sans doute une solution générale, car les eaux de pluie comptent elles-mêmes parmi les eaux nuisibles, et il est rare que les rues présentent des pentes superficielles suffisantes pour assurer partout l'écoulement rapide des torrents d'eau fournis par les averses sans qu'il s'y puisse produire d'inondations. D'autre part, les eaux pluviales facilitent souvent dans les égouts l'entraînement des eaux résiduaires et des dépôts auxquels ces dernières peuvent donner lieu, de sorte qu'en les excluant systématiquement on se priverait, dans bien des cas, d'un précieux moyen de curage. Et, bien que les petites conduites aient la propriété de se nettoyer elles-mêmes, comme on l'a fait remarquer, parce que le moindre obstacle à l'écoulement y met l'eau en charge et détermine une sorte de chasse, il n'en est pas moins vrai que les

obstructions y sont fréquentes ; la recherche en est difficile et gênante, et si, pour les éviter, on a recours à des chasses abondantes et répétées d'eau pure, on peut perdre par les frais qui en résultent l'avantage réalisé par la diminution des sections.

Mais le système séparé est susceptible de rendre des services dans les villes où il existe déjà un système plus ou moins complet d'écoulement des eaux pluviales, dans les quartiers bâtis en amphithéâtre avec rues en forte pente, ou dans les localités auxquelles la faiblesse de leurs ressources ne permettrait pas d'aborder la construction d'un système complet d'égouts à grande section et qui pourraient néanmoins se procurer ainsi sans débours exagérés le précieux avantage d'un assainissement complet des habitations.

§ 2.

RÉSEAUX D'ÉGOUTS

471. Étude des conditions locales. — Avant de prendre parti pour une solution quelconque du problème de l'assainissement d'une localité donnée, il convient d'étudier les circonstances particulières dans lesquelles on se trouve et de déterminer les conditions qui s'en déduisent.

Tout d'abord on calculera les quantités d'eau à écouler d'après l'étendue des bassins versants, la hauteur moyenne de pluie, le relief du sol et son degré de perméabilité, le volume d'eau distribué, les habitudes de la population, les additions et augmentations à prévoir, etc. Puis on recherchera les débouchés vers lesquels il y aura lieu de diriger les artères principales du réseau, et les points les plus bas qu'il y ait à drainer ; on se rendra compte du niveau et de l'importance de la nappe d'eau souterraine, qui peut être un obstacle sérieux dans l'exécution des travaux, et dont il ne serait pas bon de contrarier l'écoulement.

D'autre part, il y a lieu de rechercher les matériaux dont on peut faire usage, de se rendre compte des prix de revient, d'examiner les ressources budgétaires, etc.

Aucune de ces diverses considérations ne doit être omise si l'on veut arriver à dresser un projet entièrement satisfaisant sur des bases tout à fait rationnelles.

472. Choix des types. — En effet, c'est seulement quand on a réuni tous les renseignements utiles qu'on peut faire, en connaissance de cause, choix du système d'égouts qui correspond le mieux aux conditions spéciales à remplir et se mettre en mesure d'aborder le tracé du réseau.

On conçoit par exemple que, si les débits sont peu considérables, les déclivités du sol prononcées, les parcours restreints, la population clair-

semée, les ressources modestes, etc., des égouts à petite section, de simples tuyaux devront suffire. S'il s'agit, au contraire, d'une très grande ville, construite sur un terrain plat, où les pentes disponibles sont faibles et les débouchés lointains, largement alimentée d'eau, renfermant une population dense et un grand nombre d'industries et disposant d'un budget considérable, on devra donner aux égouts de grandes dimensions, en faire de larges galeries partout accessibles, en état de rendre les services multiples qu'on peut avoir à leur demander. Et entre ces deux cas extrêmes viennent s'en placer une foule d'autres qui peuvent donner lieu à des solutions intermédiaires.

Souvent les circonstances varient sensiblement d'un quartier à un autre, et telle solution convenable pour celui-ci ne le serait plus au même degré pour celui-là ; n'est-il pas alors à propos de renoncer à un type uniforme, et de choisir tantôt l'un, tantôt l'autre, de manière qu'en chaque point les ouvrages soient autant que possible appropriés aux besoins particuliers qu'ils ont à desservir ?

Puis il faut proportionner les sections des diverses artères à leur importance relative, réduire au minimum celles des conduits secondaires ou tertiaires, donner tout le développement nécessaire aux égouts principaux, aux *collecteurs*.

Dans tous les cas, l'étude du réseau tout entier doit être poursuivie d'ensemble, car, pour fonctionner d'une manière satisfaisante, il doit faire un tout homogène, conçu d'après un plan unique ; rien n'est plus difficile que de remanier après coup un réseau mal étudié, rien n'est plus incommode que de relier entre eux des tronçons d'égout construits çà et là un peu au hasard.

473. Dispositions générales des égouts. — Les égouts sont généralement établis suivant l'axe des chaussées, afin que les branchements à construire de part et d'autre pour y relier les maisons riveraines soient d'égale longueur. On fait exception à cette règle dans les voies de très grande largeur, où il devient plus économique de réduire les branchements en remplaçant l'égout axial unique par deux égouts latéraux, placés non loin des maisons, sous les trottoirs ou les contre-allées.

La pente d'un égout est déterminée par l'altitude obligée du radier au point le plus haut et la cote du débouché ; il peut y avoir lieu de la faire varier afin de mettre partout l'ouvrage à une assez grande profondeur au-dessous du sol pour qu'il n'ait rien à craindre des ébranlements de la surface. Mais elle doit demeurer suffisante en tous les points du parcours pour que l'eau soit animée de la vitesse nécessaire à l'entraînement des matières dont elle est chargée ; et, comme la vitesse dépend aussi de la section mouillée, on peut corriger dans une certaine mesure, par un changement dans la forme de cette section, les insuffisances de pente qui peuvent se présenter de temps à autre. Les pentes les plus satisfaisantes sont comprises entre $0^m,01$ et $0^m,03$ par mètre ; les sables commencent à

se déposer quand la déclivité du radier est inférieure à $0^m,015$ par mètre, les vases quand elle s'abaisse jusqu'à $0^m,005$, et les dépôts se forment très rapidement quand elle tombe à $0^m,0025$. Il n'y a pas d'inconvénient à dépasser $0^m,03$ par mètre dans les petits égouts non visitables; mais, dans ceux où des ouvriers doivent circuler, une pente supérieure à $0^m,03$ est un danger, car le radier ne tarde pas à devenir glissant ; au delà de $0^m,05$, il faut renoncer à une pente continue et disposer sinon le radier, du moins la banquette de circulation en forme de gradins.

La section totale d'un égout doit être calculée en principe d'après le plus grand débit probable. Mais très souvent, quand il s'agit d'une galerie visitable, tout calcul devient inutile parce que la section nécessaire pour le passage d'un homme est beaucoup plus grande qu'il ne faudrait pour l'écoulement du volume d'eau maximum. Cette condition implique, en effet, une hauteur libre de $1^m,80$ au moins et une largeur de $0^m,60$ à $0^m,70$ au niveau des épaules; et, si l'égout doit renfermer des conduites suspendues aux piédroits ou à la voûte, les dimensions à lui donner augmentent encore puisqu'il faut toujours laisser le même espace libre pour la circulation.

474. Tracé d'un réseau. — La partie délicate du tracé d'un réseau d'égouts est celle qui concerne les *collecteurs*, destinés à recevoir l'apport des égouts secondaires et à conduire la totalité des eaux recueillies jusqu'au débouché final.

L'étude de ces collecteurs ne présente pas de difficultés quand on peut les faire aboutir directement à la rive d'un cours d'eau voisin et assez considérable pour n'avoir pas à en craindre la contamination par les eaux d'égout. Il suffit de décomposer la surface totale à drainer en un certain nombre de petits bassins, et de placer dans le thalweg de chacun de ces bassins le conduit principal correspondant, vers lequel convergeront tous les embranchements.

Il en est encore de même quand, pour ne point souiller les eaux du cours d'eau, on établit parallèlement à la rive un collecteur destiné à recevoir le débouché des conduits principaux tracés comme on vient de l'indiquer, et à porter la totalité des eaux recueillies vers l'aval jusqu'à un point où on peut les déverser.

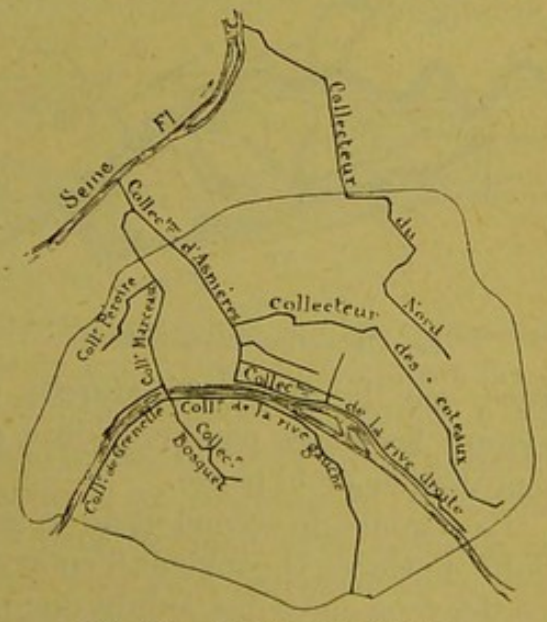


FIG. 570. — Collecteurs de Paris.

Mais la question ne se présente pas toujours dans des termes aussi simples. A Londres et à Paris, par exemple, il a fallu reporter au loin

vers l'aval les débouchés des collecteurs; mais, en suivant simplement les rives de la Tamise ou de la Seine, on aurait eu à décrire des contours sinueux, à faire de longs parcours avec de trop faibles pentes, et l'on a dû y renoncer, pour gagner le chemin le plus court en dépit des obstacles naturels. Dès lors les conduits principaux aboutissant aux collecteurs et nombre d'égouts secondaires ont dû recevoir des pentes inverses de celles de la surface.

Pour éviter de trop charger tel collecteur, placé au pied d'un versant étendu, il peut y avoir avantage à tracer tranversalement aux lignes de pentes des collecteurs intermédiaires, qui interceptent l'écoulement dans les égouts établis suivant le sens de la déclivité naturelle, et recueillent ainsi une partie des eaux au passage. Situés à une altitude plus favorable, ces collecteurs intermédiaires peuvent être amenés jusqu'au débouché avec une pente plus satisfaisante ou à un niveau supérieur. On en trouve à Paris : le collecteur du Nord et le collecteur des coteaux. On en trouve également à Londres, où les égouts sont répartis en trois étages, haut, moyen et bas, avec des collecteurs distincts, dont la pente est de $0^m,40$ par kilomètre.

A Berlin, nous l'avons déjà signalé, on a dû renoncer au débouché naturel dans la Sprée, lors de la création du nouveau réseau d'égouts. En conséquence, on a partagé la ville en douze circonscriptions, dont chacune est pourvue d'une usine élévatoire servant de débouché au réseau d'égouts correspondant. Les machines refoulent l'eau dans des conduites qui la portent au loin dans des propriétés rurales qu'elle est appelée à fertiliser. Pour chaque circonscription l'usine constitue un centre arbitrairement choisi, vers lequel on fait converger toutes les eaux par un système d'artères rayonnantes. Il en résulte un tracé remarquable, auquel on a donné le nom de *radial*, bien justifié dans l'espèce, car la déclivité naturelle du terrain est presque nulle, et, en évitant les longs parcours, on a pu réduire les sections des égouts et leur donner de la pente.

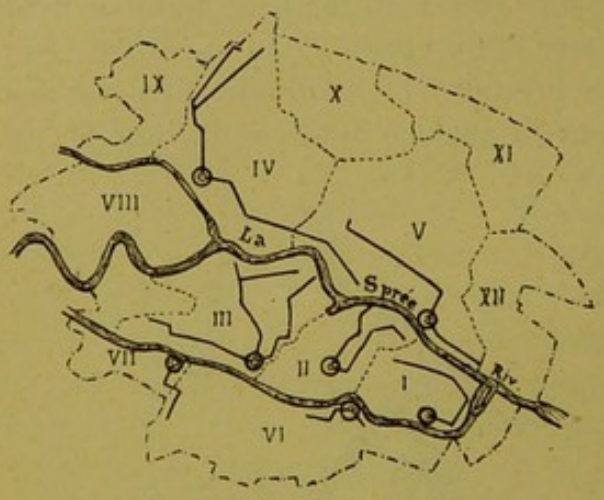


Fig. 571. — Collecteurs de Berlin.

Les égouts de second et de troisième ordre ne présentent aucune difficulté de tracé. Il convient d'en avoir un dans chaque rue, et de les raccorder tous entre eux autant que possible, afin qu'ils puissent au besoin s'entr'aider en cas d'afflux anormal des eaux en quelque point ou d'interruption momentanée de l'écoulement dans une direction donnée. Le raccordement d'un égout secondaire avec un égout principal se fait sou-

vent suivant la direction normale à l'axe de celui-ci : il est préférable de l'obliquer dans le sens du courant et même de l'établir en courbe, surtout quand les radiers sont au même niveau ; mais, quand on ménage un ou plusieurs gradins au débouché de la branche secondaire, afin d'y empêcher le reflux des eaux du conduit principal, le raccordement tangentiel perd de son importance.

475. Dipsositions particulières. — Pour triompher des obstacles que rencontre parfois le tracé des égouts, on peut être conduit à s'écarter des types courants et à imaginer des dispositions spéciales.

La nécessité de couper au plus court, par exemple, pour améliorer la pente, amène à établir certains égouts à grande profondeur, à les construire *en souterrain ;* à Paris les collecteurs de la rive droite et de la rive gauche ont dû, pour gagner Clichy, s'enfoncer ainsi sous les contreforts de Monceau et de l'Étoile.

Ailleurs, ce moyen ne donnant pas encore une pente suffisante, on a créé, pour ainsi dire, une pente artificielle, en établissant quelque part sur le parcours une usine chargée d'élever mécaniquement à plusieurs mètres de hauteur la totalité des eaux. C'est la solution qui a été adoptée à Londres, quand, pour éviter le retour des immondices provenant des collecteurs, que la marée montante ramenait jusqu'à six fois vers London Bridge, on a reconnu la nécessité de reporter le débouché des égouts à Barking Creek, soit 25 kilomètres plus bas.

S'il faut traverser un cours d'eau et porter d'une rive à l'autre l'apport d'un égout, on a recours ordinairement à un siphon renversé, analogue à ceux qu'on substitue aux aqueducs pour franchir certaines vallées. Une conduite forcée métallique est descendue dans le lit du cours d'eau, et raccordée de part et d'autre avec les ouvrages en maçonnerie ;

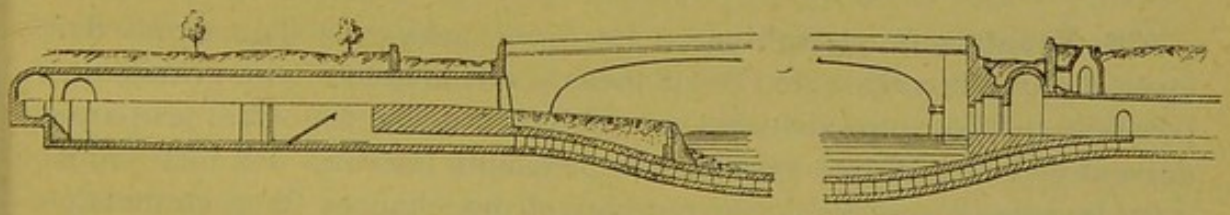


Fig. 572.

tantôt on l'exécute en tôle rivée, sans joints ou à joints rigides, comme on l'a fait à Paris au pont de l'Alma, tantôt en tuyaux de fonte à joints flexibles ou articulés avec bagues de caoutchouc. Une autre solution a été appliquée à la traversée du canal Saint-Martin, à Paris : c'est un siphon ordinaire qui passe au-dessus du canal ; il se compose de conduites métalliques suspendues aux voûtes du pont Morland et en épousant la forme (fig. 573) ; le siphon est amorcé et le vide y est entretenu au moyen d'une trompe, sorte d'éjecteur dans lequel l'air est entraîné par un courant d'eau en pression empruntée aux conduites de la distribution [1]. Les

1. Cette disposition est due à M. Maurice Lévy.

mêmes moyens peuvent être employés pour passer d'un côté à l'autre d'une tranchée profonde, établie pour le passage d'une route ou d'un chemin de fer.

La rencontre d'une nappe d'eau abondante, au cours des travaux d'égout, oblige à entreprendre des *épuisements* coûteux. Il sera quelquefois préférable de s'en débarrasser en l'abaissant d'une manière définitive par un *drainage* perméable, indépendant de l'égout.

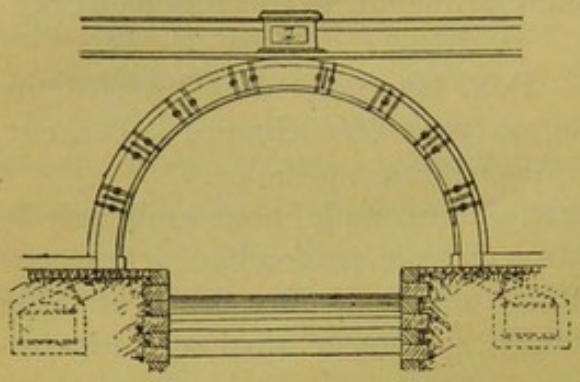


Fig. 573.

Sur un sol sans consistance, il faut donner aux galeries maçonnées une assiette solide en élargissant convenablement la fondation. Sur un sol fouillé, où d'anciennes carrières ont laissé des vides insuffisamment remblayés, et où la moindre fuite pourrait déterminer des fontis, on ne peut quelquefois établir d'égout qu'à la condition de descendre les fondations à travers les anciennes carrières jusqu'aux couches sous-jacentes. Plus d'un cas de ce genre s'est présenté à Paris, et il a fallu construire alors l'égout sur une série d'arcatures portées par de haut piliers en maçonnerie.

§ 3.

SECTIONS DES ÉGOUTS DE DIVERS TYPES

476. Égouts non visitables. — La forme intérieure d'un égout doit être telle que la vitesse de l'écoulement y soit toujours aussi grande que possible, quelles que soient les variations du débit. En outre, les parois doivent être de nature à résister aux pressions latérales des terres ainsi qu'à la pression verticale du remblai et des charges fixes et mobiles qu'ils supportent.

Les anciens égouts à piédroits verticaux et radiers aplatis répondent mal à la première de ces conditions : en temps sec, quand le volume d'eau est très réduit, l'écoulement se fait sous une faible épaisseur et par suite avec lenteur; il en résulte des dépôts qui contribuent eux-mêmes à le ralentir encore. La seconde condition n'est pas beaucoup mieux remplie, car les piédroits, formant à la fois murs de soutènement contre la poussée des terres et culées contre celles de la voûte et de sa surcharge, ne résistent bien que si on leur donne d'assez fortes épaisseurs.

Aussi a-t-on été conduit à remplacer partout ces anciens types par

d'autres à formes arrondies, et les sections des égouts modernes sont-elles généralement circulaires ou ovoïdes. Au seul point de vue de la résistance, ce serait la forme circulaire qui l'emporterait, car elle permet de réduire les épaisseurs des parois au minimum, et son emploi est par suite très économique. Mais, au point de vue de l'écoulement de l'eau, la forme ovoïde est supérieure, parce qu'elle donne, dans le cas des faibles débits, une section mouillée plus avantageuse, ainsi que l'on s'en rend compte au seul aspect de la figure ci-contre. La différence est insignifiante quand il s'agit d'égouts de petites dimensions; on renonce donc à la forme ovoïde pour s'en tenir à la forme circulaire toutes les fois qu'un conduit de $0^m,40$ à $0^m,60$ de diamètre au plus doit suffire.

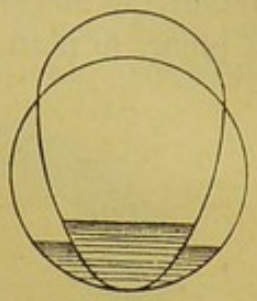


Fig. 574.

Il convient, d'ailleurs, de ne point pousser trop loin la réduction des sections d'égouts, bien qu'on l'ait quelquefois préconisée soit à cause des économies qu'elle procure, soit en raison de la propriété qu'ont les très petits égouts, où l'eau se met en pression au moindre obstacle qu'elle rencontre, de se nettoyer automatiquement. En effet, les obstructions sont alors fréquentes, malgré les précautions prises pour empêcher l'introduction des corps solides de trop grande dimension, et il en résulte de graves ennuis. Latham cite le cas de la ville de Croydon (Angleterre), où l'on avait appliqué sur une grande échelle le principe de la réduction au minimum des sections d'égout, et où la multiplicité des obstructions a nécessité, à un moment donné, la transformation complète du réseau.

477. Égouts visitables. — Lorsqu'un égout doit être accessible, il faut nécessairement lui donner assez de hauteur pour qu'un homme y puisse circuler debout. Cette règle n'était pas toujours admise autrefois, mais on a reconnu qu'il est barbare d'obliger les ouvriers chargés de la visite et du curage des galeries à y circuler en rampant ou en prenant une position inclinée qui est toujours extrêmement fatigante. D'ailleurs l'augmentation de la hauteur d'un égout n'entraîne d'ordinaire qu'un faible accroissement de la dépense, depuis que l'adoption de formes plus rationnelles a permis de réduire considérablement l'épaisseur des parois.

Pour faciliter la marche dans l'égout, on a été souvent amené à donner au radier un profil aplati, malgré les inconvénients qui en résultent au point de vue de l'écoulement des eaux : tel est le cas des types qui ont été longtemps adoptés à Paris pour la construction des égouts secondaires (fig. 575 et 576). Le curage continu, auquel ils sont soumis, atténue sans doute l'inconvénient du radier plat. Néanmoins on peut qualifier de très heureuse la modification qui vient d'y être apportée, et qui a consisté dans la substitution d'une petite banquette de circulation, placée à côté d'une

cunette étroite et arrondie, à l'ancien radier plat (fig. 577) : en temps sec, la cunette forme un lit mineur qui suffit à l'écoulement des eaux provenant des maisons, et l'on circule commodément sur la banquette ; quand il pleut, le plan d'eau s'élève, la banquette est envahie ; mais, comme

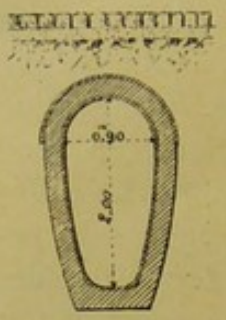


Fig. 575. — Type 14.

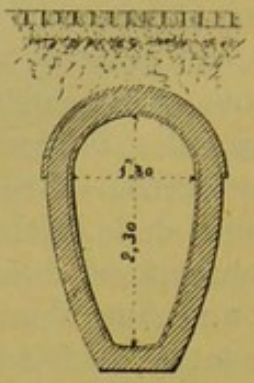


Fig. 576. — Type 12.

la vitesse est assez grande et l'eau relativement peu chargée, il ne s'y forme pas de dépôts vaseux, et la circulation se rétablit immédiatement après sans difficulté.

Ce n'est là au reste que l'extension aux égouts à section moindre des dispositions antérieurement adoptées pour ceux de plus grandes dimensions : nombre d'égouts à Paris présentent une cunette au milieu, bordée

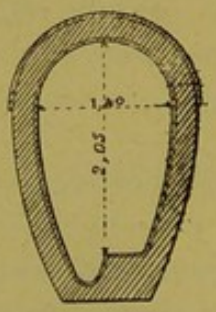


Fig. 577. — Type 12 bis.

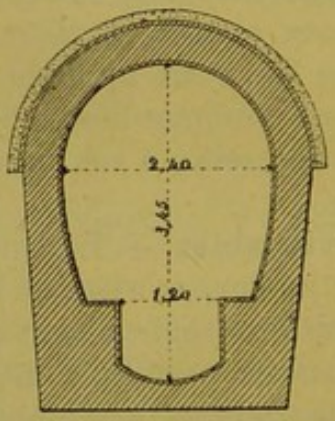


Fig. 578.

de deux banquettes latérales de circulation. Nous donnons (fig. 578) la coupe de l'égout de la rue de Rivoli, où la cunette a $1^m,20$ de large sur $0^m,80$ de profondeur, et les banquettes $0^m,40$.

478. Grands égouts. — Les égouts de très grande section, qui jouent dans les villes importantes le rôle de collecteurs, ont presque toujours des dimensions bien supérieures à celles qui sont strictement nécessaires pour la circulation : quelle que soit d'ailleurs la forme qu'on leur donne, ils sont toujours accessibles et visitables.

Mais l'existence de banquettes y facilite singulièrement le passage des ouvriers, la pose des conduites d'eau, etc., et, à Paris, il n'y a pas de grands égouts qui n'en aient été pourvus. Nous avons déjà donné plus haut la coupe du collecteur Sébastopol (fig. 342), où une cunette de

1m,20 de largeur est bordée de deux banquettes de 1m,80 chacune, qui servent à la circulation et portent de très grosses conduites d'eau posées sur colonnettes. Les sections des grands collecteurs de la rive gauche (Marceau) et de la rive droite (Asnières) présentent, la première, une cunette de 2m,20 de large sur 1m,00 de profondeur avec des banquettes

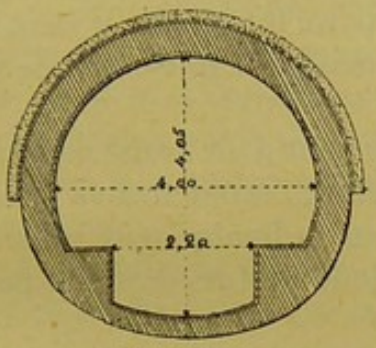


Fig. 579.

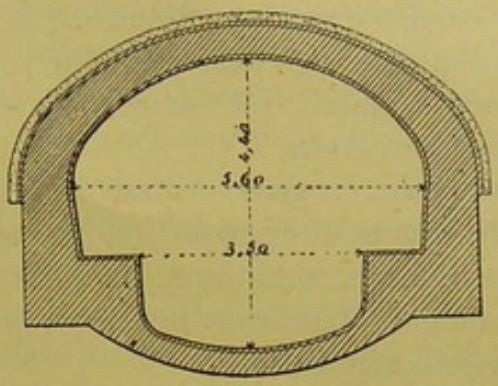


Fig. 580.

de 0m,70, et la seconde, une cunette de 3m,50 sur 1m,35 avec banquettes de 0m,90 : la forme générale de l'un est presque circulaire, celle de l'autre elliptique, et il est résulté de cette disposition favorable à la résistance qu'on a pu les construire avec des épaisseurs de maçonnerie remarquablement faibles, malgré l'importance du vide.

479. Matériaux employés. — Dans la grande majorité des cas, les égouts sont construits en maçonnerie, et la paroi intérieure est recouverte d'un enduit lisse sur tout le pourtour, y compris la voûte, qui, en temps de grandes eaux, peut se trouver faire partie elle-même du périmètre mouillé. La meulière et le mortier de ciment à prise rapide qu'on emploie à Paris pour la confection des maçonneries d'égouts donnent d'excellents résultats : l'adhérence du mortier est grande, la pierre très dure, et, la prise se faisant rapidement, le décintrement peut s'opérer au bout de quelques heures, ce qui permet de réduire au minimum la gêne que cause l'exécution du travail et l'interruption qui en résulte pour la circulation des voitures. En général, les moellons siliceux sont préférables aux moellons calcaires.

Dans les pays où, comme en Angleterre, les moellons sont rares ou chers, on les remplace par la brique, qui a le double inconvénient d'être toujours assez dispendieuse et de présenter des surfaces unies sur lesquelles les enduits n'adhèrent qu'imparfaitement. Dans la partie constamment mouillée, les dégradations sont dès lors rapides, et c'est pourquoi l'on a proposé de faire le radier en blocs de grès vernissé (fig. 581), sur lesquels viennent s'appuyer les piédroits. Les résultats obtenus au moyen de ces blocs, fréquemment employés, sont assez satisfaisants pour qu'on ait songé à construire des égouts entiers avec des éléments du même genre et de formes appropriées.

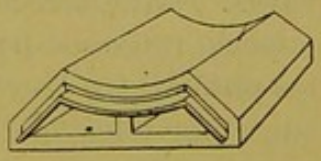


Fig. 581.

On emploie aussi à la confection des égouts le béton, moulé sur place dans la tranchée même; il constitue en quelque sorte un monolithe sans aucun joint. Ce procédé peut s'appliquer aux égouts de toutes dimensions, mais il se prête particulièrement bien à l'établissement de ceux qui sont trop petits pour qu'on puisse les exécuter avantageusement en maçonnerie ordinaire. Le béton doit être gras; on le pilonne fortement, et le mortier, qui reflue vers la paroi intérieure, y vient former une sorte d'enduit qui fait corps avec la masse et présente une surface extrêmement lisse.

Les tuyaux en grès vernissé à l'intérieur sont d'un usage courant pour l'établissement des petits conduits souterrains; l'écoulement s'y fait dans de très bonnes conditions, mais ils coûtent ordinairement plus que le béton moulé, et ils sont peut-être plus sujets aux dislocations par suite des tassements du sol.

§ 4.

CURAGE ET VENTILATION DES ÉGOUTS

480. Différents modes de curage. — Quelles que soient les formes ou les dimensions données aux égouts et les quantités d'eau qu'ils reçoivent, quelle que soit la vitesse de l'écoulement qui s'y produit, on peut dire qu'il n'y a pas de réseau où l'on n'ait à combattre la formation de dépôts ou à en assurer l'enlèvement par des procédés de curage méthodiques.

Les dépôts peuvent être classés en trois catégories : les *vases*, très ténues et à peine plus lourdes que l'eau, les *fumiers* plus légers au contraire et composés surtout de débris végétaux, pailles, etc., les *sables*, ou détritus minéraux, provenant en grande partie de l'usure des chaussées et dont la densité est à peu près double de celle de l'eau.

Lorsque les précautions prises dans la construction des égouts, en vue de prévenir les dépôts, fortes pentes, formes arrondies, raccords courbes, se montrent inefficaces, on a recours à des *chasses* pour entraîner les vases. Tantôt ces chasses s'effectuent au moyen des eaux d'égout elles-mêmes, retenues par des barrages convenablement disposés; tantôt on les obtient par l'ouverture brusque d'un réservoir alimenté, soit par les eaux pluviales qu'on y emmagasine, soit par l'eau de la distribution qu'on y déverse; tantôt enfin on utilise un emprunt fait à un cours d'eau, à un canal ou à l'un des bassins d'un port à marée. Si le volume des lâchures est grand, et la vitesse du courant considérable, l'effet produit est excellent : mais il ne s'étend pas au delà d'une certaine distance; pour dépasser cette limite, une seconde chasse produite par un

autre appareil analogue devient nécessaire, et ainsi de suite de proche en proche.

Les sables résistent, en général, et ne sont pas entraînés par les chasses. Pour les enlever, on peut recourir à des curages périodiques, qui consistent à les charger à la pelle dans des seaux que l'on extrait par les regards. Mais il est bien préférable de substituer à ces opérations incommodes et répugnantes un mode de nettoyage continu qui, en attaquant les dépôts dès qu'ils se forment et s'opposant à leur accumulation, maintient de meilleures conditions d'écoulement. L'eau peut être encore à cet effet un précieux auxiliaire; on l'utilise pour ameublir les dépôts, mettre les sables en suspension et en faciliter l'entraînement au moyen d'appareils spéciaux.

481. Appareils de curage. — Dans les égouts de petite section, où un homme ne peut pénétrer, si ces chasses ne suffisent pas, un autre mode de curage s'impose ; on en est réduit à introduire des outils qui agissent à la façon de ceux au moyen desquels on opère le ramonage des cheminées. Ce sont des griffes, des rabots, des brosses qu'on place au bout d'une longue tige, formée de plusieurs bouts assemblés, et qu'on fait pénétrer par les regards. Parfois on descend dans d'autres regards des lampes, qui éclairent l'égout au delà de l'outil et permettent de se rendre compte de l'avancement du travail.

Ce genre d'appareils est peu usité en France, où l'on n'a guère construit jusqu'à présent que des égouts où la circulation est possible, sinon facile. Les ouvriers chargés du curage descendent dans ce cas par les regards, pénètrent eux-mêmes dans les égouts, armés de pelles, de balais, de rabots, et chassent les dépôts devant eux, ou les chargent dans des seaux ou des wagonnets, qu'ils conduisent plus loin hors des galeries.

Nulle part le système de curage à bras d'hommes n'a reçu un développement aussi complet qu'à Paris, où tout un outillage spécial a été créé pour cet usage ; le travail s'y effectue d'une manière absolument continue, en appliquant systématiquement le principe de l'utilisation des eaux d'égout pour l'ameublissement et l'entraînement des sables.

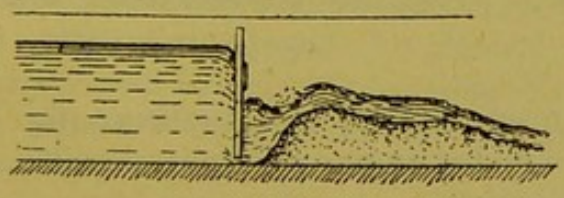


Fig. 582.

L'élément essentiel de l'outillage employé au curage des égouts de Paris est une sorte de vanne mobile qu'on descend dans la cunette de l'égout pour y former barrage, l'eau s'élève à l'amont, puis, s'échappant avec force soit par le pourtour de la vanne, qui laisse un certain jeu entre elle et les parois de la cunette, soit par des ventelles, elle attaque

le dépôt en aval et le transforme en une sorte de dune mouvante progressant lentement avec la vanne elle-même. Les dimensions de la vanne varient avec la section de l'égout correspondant : dans les grands collec-

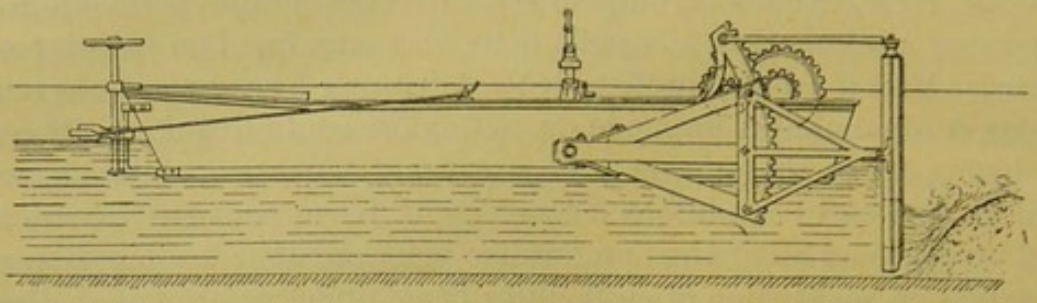


Fig. 583.

teurs elle est portée par un bateau en fer (fig. 583) ; dans les collecteurs secondaires par un wagon (fig. 584), qui roule sur des rails en cornières formant les arêtes des deux banquettes de circulation ; dans les égouts

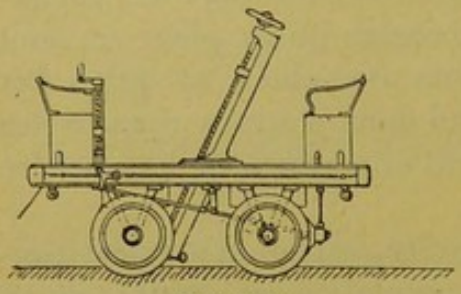


Fig. 584.

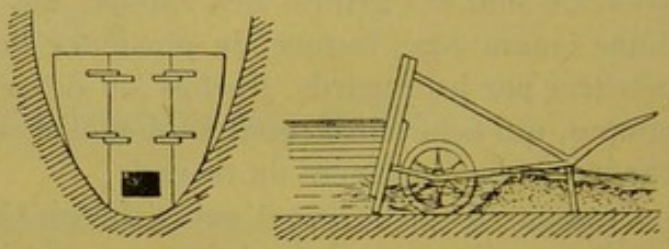


Fig. 585.

de moyenne dimension, non pourvus de banquettes, par un petit chariot dit *brouette mitrailleuse* (fig. 585), dans les petits égouts enfin, elle est

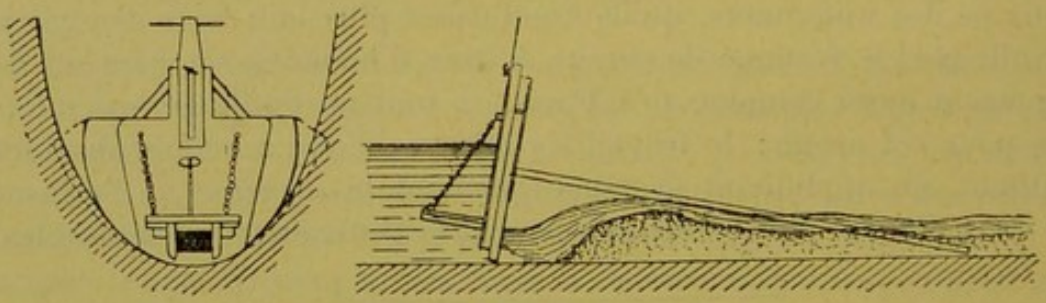


Fig. 586.

employée à la main sous le nom de *mitrailleuse* (fig. 586). Quand l'eau fait défaut, l'emploi de ces engins n'est plus possible, et les hommes se servent de simples rabots.

Pour étendre le même principe au siphon du pont de l'Alma, on a imaginé un appareil de curage aussi simple qu'ingénieux, et qui mérite de trouver d'autres applications. C'est une boule en bois, de diamètre un peu moindre que le tuyau, qu'on abandonne au fil de l'eau : elle vient buter contre le dépôt de sable, et, faisant l'effet de la vanne dans les égouts, détermine l'ameublissement et la progression du banc, qui ne

tarde pas à gagner l'autre extrémité du siphon, où la boule apparaît elle-même à sa suite.

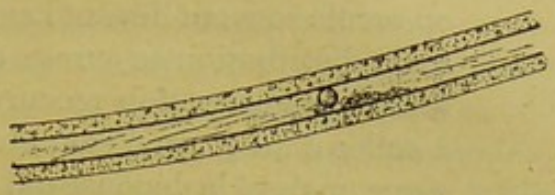


Fig. 587.

Au moyen de ces divers engins les sables sont amenés peu à peu des égouts secondaires dans les collecteurs, puis, en suivant les collecteurs, jusqu'à leur débouché, sans qu'il y ait besoin de faire aucun travail d'extraction par les regards sur la voie publique. Pour diminuer les distances à parcourir, et par suite le temps et la dépense du curage, on a disposé seulement, sur quelques points convenablement choisis, des réservoirs à sable, où les dépôts viennent s'accumuler, et d'où on les reprend, pour les transporter au moyen de wagonnets sur rails vers des orifices de sortie, disposés sur les bas ports de la Seine, où on les charge dans des bateaux destinés à les conduire au loin.

482. Appareils de chasse. — Les appareils qui servent à produire des chasses d'eau dans les égouts présentent une très grande variété de dispositions.

Fort employés par les ingénieurs anglais, ils ont reçu de nombreuses applications sous toutes les formes dans les réseaux construits par eux.

Les plus répandus utilisent l'eau d'égout elle-même. Un barrage mobile, formé par une porte à charnière ou une vanne levante, peut à volonté produire une retenue dans un tronçon d'égout choisi à cet effet : à un moment donné on enlève le barrage ou on y pratique tout à coup une ouverture et l'eau s'échappe avec vitesse. A Paris, des vannes ont été disposées pour cet usage de distance en distance dans les grands égouts. Les retenues ne sont pas sans inconvénients : l'arrêt momentané de l'écoulement provoque naturellement des dépôts en amont du barrage ; la surélévation du plan d'eau gagne les égouts latéraux, où des dépôts se forment également et salissent le radier et les parois; la stagnation amène des fermentations, et, au moment des lâchures, il se dégage parfois des odeurs infectes.

On peut obtenir aussi des chasses par retenue d'eau dans les petits égouts, au moyen d'une disposition du genre de celle que représente la figure 588. Un regard sert à emmagasiner l'eau ; et, à un moment donné, le déplacement d'un clapet, manœuvré à la main ou soulevé par un flotteur, lui livre passage. Quant aux dépôts ils se forment dans le regard, où l'on peut aménager au besoin pour les recevoir une petite chambre qu'on soumet alors à un nettoyage périodique.

Les siphons du type Rogers Field [1] peuvent être utilisés pour produire dans les égouts des chasses automatiques. Ils fonctionnent mieux avec des eaux propres qu'avec des eaux d'égout ; mais on recule souvent devant l'emploi direct des eaux de la distribution au curage des égouts, et, à défaut, on a quelquefois recours aux eaux de pluie, à celles d'un cours d'eau, etc. Quand on s'y résigne, malgré la dépense qui en résulte, on cherche du moins à réduire les quantités consommées en utilisant le mieux possible le volume d'eau consacré aux chasses. C'est ainsi qu'à Paris, où l'on vient d'établir un assez grand nombre de *réservoirs de chasse*, qui reçoivent l'eau de rivière empruntée à la canalisation du service public, on a réglé l'alimentation de chacun d'eux par un robinet de jauge à 10 mètres cubes par 24 heures ; et une partie de l'eau qui s'y emmagasine est réservée pour être employée à volonté, indépendamment des chasses automatiques. Placés le plus souvent dans l'égout même, les réservoirs se composent simplement d'un tronçon d'égout isolé par deux murettes ; on y dispose à la fois deux appareils distincts, dont l'un produit une chasse au moyen de la tranche d'eau supérieure, toutes les fois que le plan d'eau s'élève assez haut pour amorcer le siphon, tandis que l'autre, formé d'une petite vanne mise à la portée des ouvriers chargés du curage, leur permet de recourir à l'eau de la tranche inférieure pour s'aider dans leur travail.

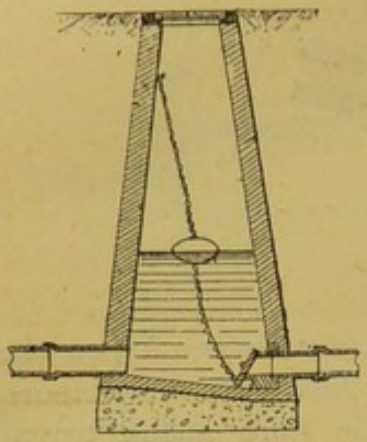


Fig. 588.

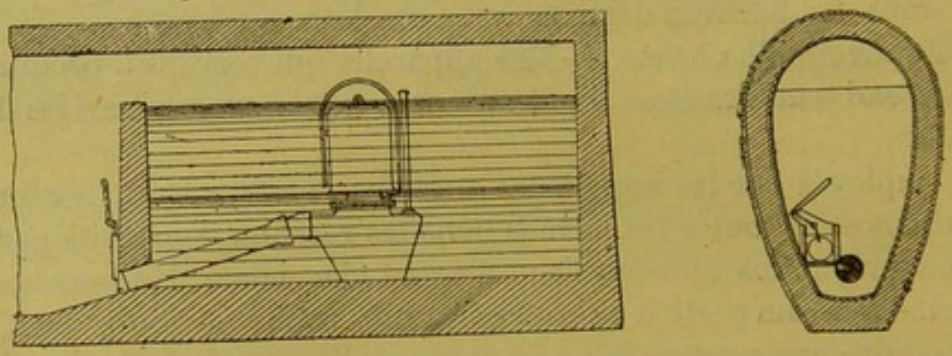


Fig. 589.

483. Ventilation. — Une bonne ventilation est encore plus nécessaire pour les égouts que pour les tuyaux de chute, surtout lorsqu'ils sont visitables, lorsqu'ils servent à la pose des conduits d'eau ou des fils électriques, et qu'un grand nombre d'ouvriers doivent y travailler chaque jour. Il convient d'ajouter qu'on la réalise assez aisément dans la plupart des cas pour que l'atmosphère des égouts demeure parfaitement respirable ; et l'on a constaté que les *égoutiers*, sans jouir d'une immunité

1. Voir chapitre XV, page 467.

spéciale comme on l'a quelquefois prétendu, ne sont pas non plus sujets à des maladies particulières ni frappés d'une mortalité supérieure.

Une circulation constante d'air frais est d'ailleurs utile, même dans les petits égouts non accessibles, surtout si l'on y introduit les matières de vidange. M. le colonel Waring la considère comme si indispensable qu'il a eu soin de ménager de nombreuses prises d'air sur le parcours de ses conduits, malgré la petitesse de leurs diamètres, et bien qu'ils ne soient en relation directe ni avec la rue ni avec les maisons.

Lorsque l'égout communique avec la voie publique par des ouvertures pratiquées sur la chaussée ou sous les trottoirs, par des bouches d'égout béantes ou fermées par des grilles ou des tampons ajourés, l'air y entre par ces ouvertures et en sort de même ; les unes respirent, les autres évacuent ; il se produit par ces bouches, comme on l'a dit très justement, une sorte de respiration de l'égout. Le seul inconvénient de cette ventilation naturelle c'est qu'elle répand au niveau du sol, et souvent près des maisons, des émanations, des odeurs qui peuvent être quelquefois désagréables.

Les ingénieurs sanitaires américains prétendent y remédier en disposant les tuyaux de chute des maisons sans siphons de pied, ces tuyaux forment alors des cheminées ouvertes par le bas dans l'égout et par le haut dans l'atmosphère, complètement séparées par des siphons hydrauliques de tous les appareils de la maison, et qui peuvent servir à l'évacuation de l'air vicié de l'égout. Les ingénieurs anglais préfèrent mettre des siphons au pied des tuyaux de chute et disposer pour la ventilation des cheminées spéciales. Mais souvent les conduits verticaux ne remplissent pas l'office qu'on en attendait : ils restent indifférents, autrement dit, il ne s'y produit pas de courant d'air, à moins qu'on n'y place un bec de gaz, pour déterminer un tirage, ce qui est à la fois peu commode et assez dispendieux.

Certaines personnes préconisent la suppression absolue de la ventilation naturelle de l'égout par la fermeture des bouches sous trottoirs et de tous les orifices de la rue : on cite des villes qui ont obtenu de la sorte des résultats satisfaisants. Il semble qu'il faudrait alors créer de toutes pièces une ventilation artificielle, au moyen de hautes et grandes cheminées, construites en des points convenablement choisis, dans lesquelles on déterminerait un tirage en y plaçant un foyer puissant ou un engin mécanique approprié. Mais les essais qui ont été faits de ce système ne paraissent avoir donné jusqu'ici que de médiocres résultats ; on a dû reconnaître que le problème est très différent de celui de la ventilation des mines et appelle d'autres solutions. Aussi a-t-on conservé presque partout la ventilation naturelle et les bouches d'égout, sans en avoir éprouvé d'ennuis sérieux.

Les courants d'air qui se produisent par les bouches librement ouvertes sont en général presque insensibles ; et, comme l'air tend à suivre

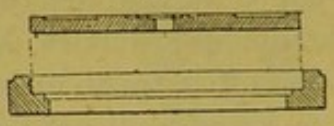
le mouvement de l'eau, la plupart des bouches aspirent plutôt qu'elles ne refoulent. Ce n'est guère que sous l'influence de variations atmosphériques soudaines qu'on observe des courants plus accentués. Et, même alors, il n'en résulte presque point d'odeur, si le curage est bien fait, et s'il n'y a ni eau stagnante ni dépôts solides dans l'égout. En Angleterre on a souvent tamisé l'air des égouts, avant son évacuation dans l'atmosphère, en le faisant passer à travers des filtres spéciaux, dont on a obtenu, paraît-il, d'assez bons effets ; de toutes les substances essayées c'est le charbon de bois qui l'emporte, et il est assez fréquemment employé dans des appareils de dispositions d'ailleurs très variées.

§ 5.

OUVRAGES ACCESSOIRES

484. Regards. — Nous avons indiqué précédemment les divers types de branchements, destinés à relier à l'égout soit les tuyaux de chute des maisons, soit les bouches qui reçoivent les eaux de la rue.

Il reste à mentionner ici les *regards* qui servent d'accès aux galeries souterraines. Ce sont des cheminées ou des puits de descente, recouverts d'un tampon arasé exactement au niveau du sol. Dans la majorité des cas les regards sont établis sur la voûte de l'égout, dans l'axe même de la chaussée (fig. 590) : le tampon en fonte doit alors être assez épais pour résister



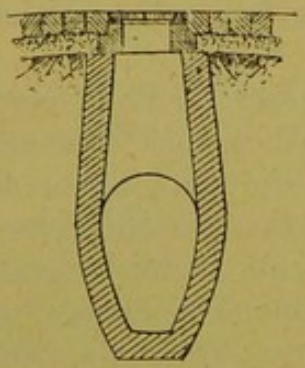


Fig. 590.

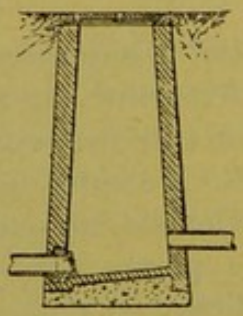


Fig. 591.

Fig. 592.

au passage des voitures ; il est d'ailleurs tantôt plein, tantôt ajouré de manière à servir à la ventilation (fig. 592). Quand les regards desservent des égouts de très petites dimensions, non visitables, on donne au puits une forme pyramidale ou tronconique (fig. 591), de telle sorte que, tout en ne présentant au niveau du sol qu'une ouverture de $0^m,60$ à $0^m,80$ au plus pour le passage des ouvriers, ils offrent dans le bas assez d'espace pour leur permettre de se baisser et de manœuvrer les outils de curage.

Les tampons sous chaussée sont une gêne pour la circulation ; les roues des voitures y éprouvent des chocs désagréables lorsqu'ils sont fermés, et le service n'y est pas sans danger quand on les ouvre aux heures de grande fréquentation. Aussi, dans quelques villes, et notamment à Paris, a-t-on reporté la descente sous le trottoir : une galerie inclinée relie alors le puits d'accès à l'égout (fig. 593) ; et le tampon en fonte, moins épais mais plein, afin de ne pas exhaler d'odeur auprès des maisons, présente une surface quadrillée ou même enduite de bitume (fig. 594), de manière à ne pas devenir glissant pour les piétons en

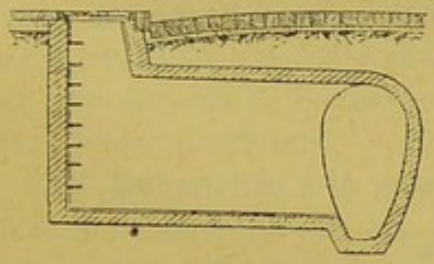


Fig. 593.

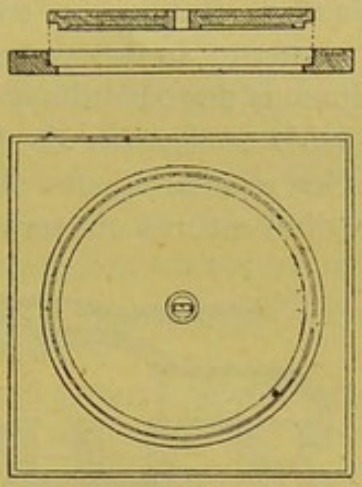


Fig. 594.

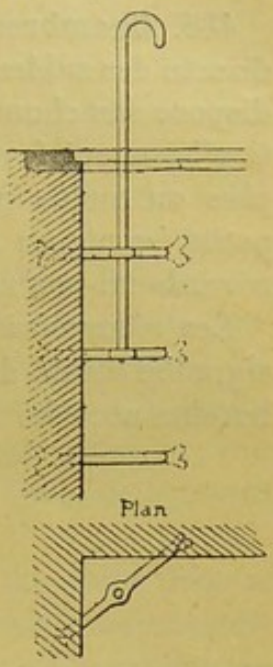


Fig. 595.

temps de gelée. Les regards ainsi placés ont l'inconvénient de déboucher en égout par un branchement, où l'eau peut refluer et donner lieu à des dépôts ; mais, d'autre part, ils ne causent plus dans la rue qu'une gêne insignifiante, et la descente y est facilitée parce qu'au lieu d'y apporter une échelle du dehors, on peut y installer à demeure des échelons en fer galvanisé, dont une *crosse* mobile rend l'usage assez commode (fig. 595). Rien n'empêche même de disposer en certains points, où la descente à l'égout doit être particulièrement fréquente, des escaliers sous trottoir : l'ouverture devient alors nécessairement beaucoup plus grande, et le tampon est remplacé par une série de plaques à charnières en tôle striée.

Un regard ouvert est pour les passants un danger réel. Aussi, lorsqu'un ouvrier descendant en égout doit laisser le trou béant, y a-t-il lieu de s'astreindre à placer à côté un gardien, chargé de signaler le péril, afin de prévenir les accidents. Il est à recommander d'entourer en outre l'ouverture d'un garde-corps mobile, qui facilite la tâche du gardien et donne un utile complément de sécurité : parmi les nombreuses dispositions imaginés à cet effet, nous citerons en passant le garde-chute fort ingénieux

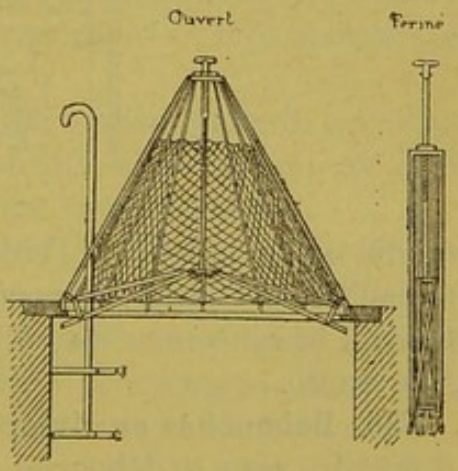


Fig. 596.

de M. Boutillier, qui a le double avantage de se fixer d'une manière rigide sur l'orifice, et de se replier à la façon d'un parapluie, de sorte que le transport en est facile, la manœuvre rapide et la solidité remarquable.

485. Chambres de dépôt. — Quand on veut procéder par extraction directe des sables pour effectuer ou compléter le curage d'un égout, on y dispose des *chambres de dépôt,* destinées à les retenir en des points particulièrement favorables. Dans les égouts ordinaires ce sont des fosses plus ou moins profondes, établies en contre-bas du radier ; dans les petits égouts on se contente de descendre le plafond des cheminées de regards un peu au-dessous des conduits qui y aboutissent.

Les réservoirs à sable ou *bassins de désablement,* dont nous avons signalé l'utilité dans les grands égouts de Paris[1], sont formés de deux bassins accolés, dont l'un est mis en service et se remplit peu à peu,

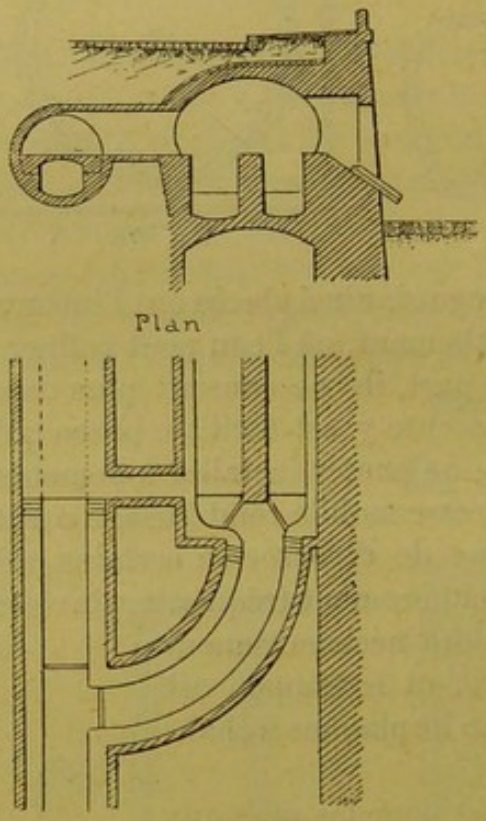


FIG. 597.

tandis qu'on procède à l'enlèvement des dépôts qui se sont accumulés dans l'autre. La figure représente ceux qui sont installés place du Châtelet, à la rencontre du collecteur Sébastopol avec celui des quais de rive droite.

486. Débouchés en rivière. — On n'a aucune disposition particulière à prendre pour le débouché d'un égout en rivière, lorsqu'il aboutit à la rive à un niveau supérieur à celui des grandes crues. Mais, lorsqu'il

1. Voir n° 481.

s'ouvre plus bas, on reconnaît souvent la nécessité d'y établir des ouvrages destinés à parer aux inconvénients qui peuvent résulter de cette situation.

En pénétrant dans l'égout au moment des crues, l'eau de la rivière interrompt nécessairement tout travail de curage, arrête l'écoulement, et provoque, souvent sur de très longs parcours, des dépôts vaseux qu'il faut enlever ensuite à grands frais. Le mal est plus grand encore si l'eau peut s'élever assez haut pour refluer par les bouches dans les rues, par les branchements jusque dans les cours ou dans les caves des maisons, causant ainsi de véritables inondations.

On s'en défend en fermant momentanément le débouché de l'égout au moyen de vannes, de clapets, ou même de portes busquées, analogues à celles des écluses sur les canaux. Il faut alors créer pour les eaux ainsi emprisonnées dans l'égout un débouché nouveau, soit en les dirigeant vers un autre orifice placé à un niveau un peu supérieur, soit en les élevant à l'aide de machines assez haut pour qu'elles puissent être jetées en rivière.

487. Débouchés à la mer. — Souvent le déversement des eaux d'égout à la mer, surtout sur les côtes où l'amplitude des marées est considérable, présente en tout temps les difficultés qu'on rencontre exceptionnellement à l'époque des crues sur le bord des rivières. C'est ce qui arrive lorsque le niveau du débouché, bien que plus élevé que celui des basses mers, se trouve en contre-bas de celui des hautes mers.

L'écoulement ne peut être alors qu'intermittent. A chaque marée il se produit pendant un temps limité ; puis, la communication avec la mer venant à être fermée par un clapet, une vanne ou une *porte de flot*, il cesse totalement, et les eaux s'accumulent jusqu'à la basse mer suivante. Le réseau d'égouts doit présenter en pareil cas une capacité suffisante pour former réserve pendant les interruptions de l'écoulement ; s'il ne suffit pas, il faut créer à cet effet des bassins spéciaux, comme on l'a fait à Londres par exemple, où ils couvrent une superficie de sept hectares et peuvent emmagasiner 300.000 mètres cubes.

Il est en outre indispensable de défendre les ouvrages contre les coups de mer, soit en les plaçant dans des endroits abrités, soit en leur donnant assez de résistance pour qu'ils n'aient rien à redouter.

Ajoutons enfin que les eaux d'égout doivent être conduites en dehors des remous dus aux anfractuosités du rivage, vers quelque point balayé par un courant capable de les entraîner au loin, de telle sorte qu'elles ne puissent refluer ni vers la ville d'où elles proviennent, ni vers les plages voisines.

CHAPITRE XX

ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT

Sommaire :

§ 1er. *Altération de l'eau des rivières.* — 488. Composition des eaux d'égout. — 489. Contamination des cours d'eau. — 490. Effets des agents naturels. — 491. Progression du mal.

§ 2. *Divers modes d'épuration des eaux d'égout.* — 492. Procédés mécaniques. — 493. Procédés chimiques. — 494. Épuration par le sol.

§ 3. *Utilisation des eaux d'égout.* — 495. Irrigations à l'eau d'égout. — 496. Emploi agricole des eaux d'égout.

§ 1er.

ALTÉRATION DE L'EAU DES RIVIÈRES

488. Composition des eaux d'égout. — « Les eaux d'égout, dit « M. de Freycinet [1], sont la plus puissante et la plus générale de toutes « les causes de souillure ; elles réunissent dans leur sein toutes les impu- « retés diverses que l'activité humaine peut enfanter, depuis les rebuts « de la fabrique jusqu'à ceux de l'habitation. »

La composition de ces eaux est nécessairement variable d'une localité à l'autre, suivant les quantités d'eau distribuées, la nature des industries, etc. Elles sont moins chargées au moment des grandes pluies qu'en temps sec, dans les villes où les matières fécales ne sont pas reçues à l'égout que dans celles où cette pratique est admise. Mais toujours elles contiennent en proportion notable des produits azotés, de l'acide phosphorique, de la chaux, des alcalis, du sable, de la terre, des détritus animaux et végétaux, etc.

A Paris, où l'évacuation directe des matières de vidange à l'égout est encore l'exception, les eaux qui s'écoulent par les collecteurs contiennent de 2 à 3 kilogrammes de corps solides par mètre cube, dont un tiers environ de matières organiques, y compris 30 grammes d'azote, et deux tiers de matières minérales, avec 10 à 12 grammes d'acide phosphorique.

1. *Principes de l'Assainissement des villes*, p. 161.

Les eaux d'égout sont en général opaques, d'un gris sale. Par le repos, les matières solides s'en séparent, et il reste un liquide, de couleur blonde le plus souvent, très chargé encore d'impuretés de toute nature, et qui contient notamment la majeure partie des produits azotés.

On conçoit sans peine que de pareilles eaux, exposées à la fermentation, soient un danger pour la salubrité publique, et qu'une des grandes préoccupations de l'hygiène urbaine doive être de les éloigner au plus vite. Les substances minérales qu'elles contiennent, bien qu'élevant le degré hydrotimétrique, n'auraient pas d'influence fâcheuse dans bien des cas; ce sont les matières organiques, et, en particulier, celles provenant des déjections humaines, ainsi que les eaux résiduaires des tanneries, lavages de laines, féculeries, etc., qui sont à redouter.

Il est manifeste, d'autre part, que les eaux d'égout constituent un engrais d'une certaine valeur. Très dilué sans nul doute, cet engrais n'en est pas moins une richesse qu'il faut regretter de voir si souvent perdre sans profit aucun pour l'agriculture.

489. Contamination des cours d'eau. — La plupart des agglomérations urbaines se débarrassent en effet du produit de leurs égouts en le déversant à la rivière voisine, où il se mélange avec les eaux qui souvent doivent être utilisées, à quelque distance, pour l'alimentation des agglomérations situées plus bas dans la même vallée.

Cette pratique met en péril la salubrité publique, car la contamination qui en résulte va sans cesse en augmentant, depuis surtout que l'industrie a pris dans tous les pays un développement considérable, que les réseaux d'égout se multiplient, que le système du tout à l'égout se répand de plus en plus.

Les inconvénients s'en font particulièrement sentir dans les régions industrielles, à population dense, quand les cours d'eau n'ont qu'un débit médiocre. Aussi, est-ce en Angleterre qu'on s'en est préoccupé d'abord : la question y a donné lieu, à partir de 1865, à des enquêtes approfondies, conduites par la Commission royale chargée de rechercher les moyens de prévenir la pollution des rivières. La situation, il faut le reconnaître, était déplorable : les rivières Aire et Calder, par exemple, étaient littéralement encombrées de déjections solides de toute nature, cendres, ordures, déchets industriels, cadavres d'animaux, et les eaux résiduaires y fermentaient en telle quantité qu'en été des gaz inflammables s'en dégageaient et pouvaient brûler jusqu'à 2 mètres de hauteur au-dessus du plan d'eau. L'Irwell, à Manchester, était « noire « comme de l'encre ». La Clyde, à Glasgow, pouvait être comparée à un gigantesque égout et le port à une fosse prête pour la vidange!

Sans être aussi grand dans les autres pays, le mal y a pris cependant assez de gravité pour provoquer en plus d'un point des mesures énergiques. La Senne à Bruxelles, la Sprée à Berlin, le Schuylkill à Philadelphie, la Bièvre à Paris, la Vesle à Reims, l'Espierre à Rou-

baix, ont appelé l'attention des municipalités, et des travaux importants ont été entrepris pour y combattre la contamination.

Depuis l'exécution des collecteurs parisiens, qui déversent chaque jour 300.000 mètres cubes d'eau, contenant 600 à 900 tonnes de substances solides, l'état de ce fleuve est devenu déplorable dans la partie immédiatement à l'aval. Les matières lourdes se déposant dans le lit, par ordre de densité, forment de véritables bancs de vases, couverts d'écumes, dégageant en basses eaux des bulles d'hydrogène carboné, qui s'étendent jusqu'à Port-Marly; les plus légères restent en suspension, et, jusqu'à Mantes, on suit leur trace noirâtre et l'on perçoit leurs odeurs infectes. La quantité d'oxygène dissous dans l'eau tombe à 1 milligramme seulement à quelque distance au-dessous du débouché des collecteurs, et la proportion normale ne reparaît que près de Rouen!

La Tamise, au-dessous de Londres, est dans un état plus fâcheux encore : il s'en dégage une odeur nauséabonde, et la Commission royale, chargée de l'étude des questions relatives au débouché des égouts, déclarait en 1884 qu'il fallait à tout prix débarrasser le fleuve de l'infection qui en résulte.

490. Effets des agents naturels. — La contamination des rivières est combattue, il est vrai, par un certain nombre d'actions naturelles, qui tendent à modifier sans cesse la composition de l'eau polluée par l'apport des égouts. Ces actions peuvent se classer en deux catégories : les unes, parmi lesquelles l'oxydation doit être placée en première ligne, sont purement chimiques; les autres sont mécaniques ou physiques, comme le dépôt ou la dilution.

Le fait de l'oxydation des matières organiques en suspension dans les eaux courantes n'est pas douteux : la diminution de la proportion d'oxygène dans les eaux très chargées de ces matières en donne la preuve, ainsi que le dégagement des gaz carburés qui sont précisément produits par les réactions correspondantes. Mais on lui a autrefois attribué une importance beaucoup trop grande : l'effet de l'oxydation est lent et incomplet. Aussi la Commission anglaise de la pollution des rivières déclarait-elle, après l'examen auquel elle s'est livrée sur ce point, qu'il n'y a pas dans le Royaume-Uni de rivière dont le cours soit assez long pour que l'eau, si elle est sérieusement contaminée, puisse s'y purifier spontanément par la seule action de l'oxygène.

D'autres effets chimiques, qui résultent du contact de résidus de provenances diverses, donnent lieu à certains précipités et contribuent à débarrasser l'eau d'une partie des impuretés dont elle était chargée. On peut en rapprocher le travail des organismes animaux et végétaux, qui se nourrissent aux dépens des matières en suspension dans l'eau et contribuent également à en modifier sans cesse la composition.

Quand les substances solides entraînées sont en quantité un peu considérable, il ne tarde pas à se produire des dépôts au fond et sur

les rives; la clarification assez rapide qu'on observe souvent paraît être due principalement à ce départ des matières solides. Presque toujours il s'opère en outre une sorte de triage, et l'on voit une série de dépôts homogènes, de nature et de densité différentes, se succéder régulièrement, si le courant n'éprouve pas de variations sensibles; dans le cas contraire, les changements de vitesse et les remous amènent le déplacement des dépôts déjà formés, en opèrent le mélange, y déterminent à nouveau des actions mécaniques et chimiques, les modifient incessamment, en un mot.

Mais de tous les effets résultant des actions naturelles sur les eaux d'égout déversées en rivière, c'est peut-être la dilution qui joue le rôle le plus important dans l'amélioration apparente qu'on observe à quelque distance; car les impuretés disséminées dans une masse d'eau considérable ne s'y trouvent plus, au bout d'un certain temps, qu'en proportions minimes, qui en arrivent même à échapper à une analyse minutieuse. Aussi, alors même que l'eau d'une rivière semble suffisamment pure pour être admise dans l'alimentation, ne présente-t-elle pas, au point de vue sanitaire, de garantie véritable, si elle a été gravement souillée à une certaine distance en amont. Le chlore est un des rares éléments qui témoignent à peu près sûrement d'une contamination antérieure, car la grande solubilité de ses composés le retient dans l'eau et on ne manque pas de l'y retrouver.

491. Progression du mal. — Les causes de contamination augmentent d'une manière continue; l'influence des agents naturels est au contraire essentiellement limitée; n'est-il pas évident dès lors que le mal doit aller en s'aggravant, et que les cours d'eau sont condamnés à une contamination progressive?

Sans doute on peut, dans des cas déterminés, où la cause d'infection est bien connue et suffisamment grave pour justifier des mesures spéciales, s'attaquer à elle, s'efforcer de la faire disparaître ou d'en détourner les effets. Mais, quelle que soit l'efficacité des moyens employés pour y parvenir, quelque soin qu'on apporte à en assurer l'application, quelque sévère que soit la réglementation par laquelle on prétend les imposer, on conçoit que la perfection n'est jamais atteinte : on met sans doute obstacle à la marche trop rapide du mal, on peut l'enrayer, la ralentir, mais non la supprimer entièrement. C'est ainsi qu'en Angleterre, malgré des prescriptions minutieuses, soigneusement mises en pratique à la suite des travaux de la Commission royale de la pollution des rivières, durant les années 1865 à 1874, la marche ascendante continue encore, même sur la

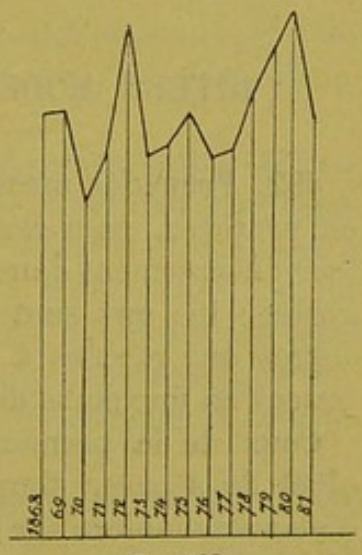


FIG. 598.

Tamise en amont de Londres, où cependant, à cause de l'intérêt immense qu'il y aurait à maintenir la pureté de l'eau qui dessert les besoins de plusieurs millions d'habitants, on n'a reculé devant aucun effort ni aucun sacrifice. Le graphique (fig. 598), donné par Couche dans son rapport sur les eaux de Londres [1], montre que la proportion des matières organiques augmente toujours, lentement il est vrai, dans l'eau de la Tamise, telle qu'elle y est distribuée.

Il ne faut donc pas croire que les divers systèmes employés ou proposés pour l'assainissement des cours d'eau soient de nature à en assurer la purification complète. Le but qu'ils peuvent atteindre est plus modeste : il s'agit seulement de prévenir et d'empêcher l'infection, dont les menace la progression fâcheuse et inévitable des causes de contamination. Même ainsi restreint, leur rôle n'en demeure pas moins capital au point de vue de la salubrité publique ; et ils sont appelés à rendre d'immenses services à l'hygiène en général. Ils contribuent, d'autre part, à sauver une fraction intéressante de la richesse publique, jusqu'à présent fort mal utilisée, et dont la culture peut cependant tirer un excellent parti.

Peut-être résoudrait-on le problème de l'assainissement des rivières en conduisant à la mer, même lorsqu'il y a de longues distances à parcourir, les eaux d'égout des grandes villes. Mais, outre les dépenses effrayantes qu'il faudrait s'imposer, ne perdrait-on pas ainsi une masse énorme de matières fertilisantes ? Et encore y aurait-il à craindre que l'infection des côtes ne soit par là substituée à celle des rives des cours d'eau, de sorte que la difficulté aurait été seulement déplacée.

§ 2.

DIVERS MODES D'ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT

492. Procédés mécaniques. — Les divers procédés préconisés et mis en pratique, pour rendre aux eaux d'égout une innocuité relative avant leur déversement dans les cours d'eau, peuvent se classer en trois catégories : les uns sont fondés sur l'emploi de moyens mécaniques, les autres ont recours à des réactions chimiques, les derniers enfin consistent en une sorte de filtration par le sol.

Ceux de la première catégorie, ou purement *mécaniques*, ont pour objet de séparer simplement les corps solides en suspension sans agir d'aucune manière sur les substances dissoutes. En admettant qu'ils soient absolument efficaces et réalisent une séparation parfaite, il est évident qu'ils ne sauraient néanmoins donner qu'une épuration fort incomplète.

1. *Les Eaux de Londres et d'Amsterdam*, 1883. p. 13.

Ils peuvent du moins atténuer le mal, en retenant des matières qui eussent été entraînées au loin par le courant, et en supprimant les dépôts sur les berges et dans le lit ; ils peuvent, en même temps, servir à faciliter l'utilisation d'une partie des matières fertilisantes comme engrais.

Le plus simple de tous est la *décantation*. Les eaux sont amenées dans de vastes bassins, où on les fait séjourner assez longtemps pour que le départ des matières solides s'y effectue par la seule action de la pesanteur : celles dont la densité est supérieure à celle de l'eau tombent au fond peu à peu et y forment un dépôt boueux ; celles qui sont plus légères viennent s'accumuler à la surface. Ce mode de purification est lent ; il exige un emplacement très étendu, et peut donner lieu à des émanations désagréables. Les applications qui en ont été faites à Reims, à Birmingham, à Blackburn, à Newcastle, etc., ont toutes démontré l'imperfection, la cherté et le danger du système.

La *filtration* à travers des substances inertes, telles que le sable ou le coke, où à travers des toiles métalliques fixes ou mobiles, présente des inconvénients analogues. L'expérience ne lui a pas été plus favorable ; et, aussi bien que la décantation, il faut la considérer plutôt comme un moyen de préparation des eaux pour une purification plus complète, que comme un système véritable d'épuration.

493. Procédés chimiques. — Par les procédés *chimiques*, on se propose de débarrasser les eaux d'égout tout à la fois des matières solides en suspension et des matières nuisibles en dissolution. A cet effet, l'on cherche à y produire par l'addition de certains réactifs des décompositions, d'où résulte la formation d'un précipité gélatineux ou floconneux, qui, en tombant au fond des bassins, entraîne ou englobe les particules solides : l'eau clarifiée et plus ou moins épurée s'échappe par déversement superficiel.

Les principaux ingrédients dont on a fait usage sont la chaux, le chlorure de chaux, le perchlorure de fer, l'acide phénique, le sulfate d'alumine, le sulfate de zinc, le charbon de bois, etc.

Souvent on a cherché à rendre l'action de ces ingrédients plus efficace en les combinant entre eux et les faisant agir soit ensemble, soit séparément. C'est ainsi que beaucoup de procédés utilisent la chaux et le perchlorure de fer. Le procédé anglais, dit ABC, a pour base l'emploi simultané de l'alun, du sang (blood) et du charbon. On a tenté aussi d'accélérer les réactions chimiques au moyen d'un effet mécanique destiné soit à rendre le mélange plus intime, soit à déterminer la précipitation.

Une des substances qui ont donné les résultats les plus satisfaisants est le sulfate d'alumine, qui a été essayé en grand à Gennevilliers sur les eaux d'égout de Paris. Le précipité d'alumine qui se produit détermine une sorte de collage et débarrasse parfaitement l'eau des matières

solides ; mais la plupart des principes azotés restent dans le liquide, qui, au bout de quelques jours, et malgré le traitement épurateur qu'il a subi, entre néanmoins en putréfaction ; et de plus, les dépôts, recueillis après décantation, ne trouvent que difficilement un emploi.

Nulle part, on n'a obtenu par les procédés chimiques une solution définitive du problème : l'épuration est toujours restée incomplète, et les eaux envoyées aux rivières après l'application des systèmes les plus perfectionnés contiennent encore des proportions notables de matières fermentescibles ; les résidus solides n'ont jamais qu'une valeur commerciale inférieure au prix de revient ; enfin, les installations sont coûteuses, et la stagnation des eaux dans les bassins épuratoires, les manipulations que ce traitement réclame, deviennent assez facilement une menace pour la salubrité du voisinage.

494. Épuration par le sol. — L'épuration par le sol donne des résultats bien supérieurs, et dans tous les pays, où des expériences suivies ont été faites pour comparer entre eux les divers procédés en présence, c'est ce dernier système qui a été reconnu incontestablement le meilleur. Il ne constitue pas une innovation, puisqu'on retrouve les traces de l'application qui en avait été faite à Jérusalem, et que, sans remonter aussi loin, on le trouve fonctionnant depuis des siècles à Milan, qui déverse par la Vettabia ses eaux noires dans les prés Marcites, à Séville, à Édimbourg, etc. Mais l'étude attentive des questions d'assainissement y a ramené tous ceux qui s'en sont préoccupés depuis un certain nombre d'années, et les applications nouvelles vont en se multipliant tous les jours : en Angleterre seulement, 144 villes y ont eu recours.

Le sol, a dit M. Schlœsing, est « l'épurateur parfait des eaux char-« gées de matières organiques. » Il agit d'abord mécaniquement, à la manière d'un filtre, retenant à sa surface les particules les plus grossières, et jusqu'aux plus ténues dans les pores des couches superficielles : la filtration y est si complète que, dans le cas où l'épaisseur est suffisante et le terrain convenablement choisi, l'eau recueillie se montre d'une limpidité absolue ; les microbes eux-mêmes y sont retenus, à tel point que, dans l'eau des drains de Gennevilliers, l'analyse micrographique ne décèle plus qu'une vingtaine de bactéries, alors que l'eau des égouts de Paris répandue sur le sol, à deux ou trois mètres au-dessus des drains, en contenait mille fois plus, et que l'eau des sources de la Vanne en renferme trois ou quatre fois autant ! En même temps il se produit, par l'effet de l'air confiné dans les vides que laissent entre elles les particules de terre, une combustion des matières organiques, une sorte de fermentation, d'où résulte la nitrification des matières azotées, et que facilite grandement l'énorme surface offerte par l'eau qui imprègne les particules de terre à l'action de l'air qui les entoure.

Un double mouvement se produit à l'intérieur du sol, entre l'eau et l'air, et met constamment en contact l'élément nuisible et l'élément ré-

parateur. S'il est bien réglé, le résultat obtenu ne laisse rien à désirer. La végétation est d'ailleurs un puissant auxiliaire, car elle contribue elle-même à ce travail en évaporant une grande partie de l'eau et la débarrassant de certaines des substances dont elle est chargée.

« Pour arriver à une bonne épuration, il faut donc entretenir le plus « possible l'aération du sol, distribuer l'eau régulièrement, c'est-à-dire « en même quantité à des intervalles de temps égaux, de manière que « sa descente à travers le sol dure au moins le temps voulu pour son « épuration ; prendre, quand cela est nécessaire, des dispositions pour « l'évacuation de l'eau, afin de ne jamais l'accumuler dans le sol [1]. »

En se conformant attentivement à ces règles, on peut épurer sans peine, sur un sol perméable assez épais pour constituer un bon filtre naturel, 50.000 mètres cubes d'eau d'égout par hectare et par an [2]. Ce chiffre, autour duquel on oscille dans un grand nombre d'essais pratiques, varie cependant avec le climat, la nature du sol, etc. On l'a parfois de beaucoup dépassé : Frankland a pu sans inconvénient déverser 120.000 mètres cubes par hectare, et l'on cite Merthyr-Tidvil où M. Bayley-Denton a été jusqu'à 180.000 et 240.000 mètres cubes.

On a objecté, en se plaçant à un certain point de vue sanitaire et médical, que l'application de ce système provoquerait la création de voiries d'un autre genre, dont les émanations pourraient être redoutables pour le voisinage, dangereuses pour la santé publique. Cette objection vise d'ailleurs surtout le cas où les eaux d'égout contiennent les matières fécales, et où l'on pratiquerait par suite ce qu'on a pu appeler le *tout sur le sol*. Mais il résulte des brillantes discussions qui ont eu lieu à ce sujet à la Commission technique de l'Assainissement de Paris en 1883, que l'influence fâcheuse de l'épuration n'est rien moins que prouvée; au contraire il est certain, quoi qu'on en ait dit, que ni les fièvres intermittentes, ni les maladies infectieuses ne se répandent au voisinage des champs d'épuration ; et la Commission a conclu que « les eaux d'é- « gout, même chargées d'une forte proportion de matières excrémenti- « tielles, peuvent être soumises au procédé d'épuration par le sol sans « danger pour la santé publique. »

Ce procédé a d'ailleurs le grand avantage de se prêter immédiatement à l'utilisation pratique des substances azotées contenues dans les eaux d'égout, si bien qu'on confond assez souvent l'épuration par le sol et l'utilisation des eaux d'égout.

1. Dr Proust. *Rapport présenté le 12 décembre 1882 à la Commission technique de l'Assainissement de Paris.*
2. *Ib.*

§ 3.

UTILISATION DES EAUX D'ÉGOUT

495. Irrigations à l'eau d'égout. — L'*utilisation* des eaux d'égout se distingue de l'épuration proprement dite, en ce qu'elle n'a plus seulement pour objet de débarrasser ces eaux des matières nuisibles qui y sont contenues, pour les rendre inoffensives avant leur déversement en rivière, mais aussi de les employer au développement de la végétation, d'en tirer parti comme engrais au grand avantage de la richesse publique.

C'est sans aucun doute avant tout au point de vue de l'utilisation que se sont placés jadis ceux qui ont créé à Grenade, à Valence, à Milan, à Edimbourg, etc., ces systèmes d'irrigation dont les résultats ont été si merveilleux, et qui méritent d'être pris comme modèles partout où se pose la question de l'emploi des eaux d'égout. Aujourd'hui, au contraire, c'est la considération de la salubrité qui domine, et c'est la nécessité de l'épuration qui a conduit à recourir au même procédé pour réaliser l'assainissement des cours d'eau, parce que seul il donne le moyen d'y parvenir. Rien n'empêche cependant de combiner avec l'épuration proprement dite l'irrigation agricole, ni même de substituer l'une à l'autre, car sans nuire à l'assainissement, on peut ainsi rendre un précieux service à la culture.

L'irrigation constitue, en effet, un excellent mode d'épuration par le sol : elle répand l'eau avec toute la régularité désirable, les façons qu'on donne à la terre empêchent le colmatage de la couche superficielle et renouvellent l'air qu'elle renferme, et la végétation détermine par une sorte de drainage vertical une évaporation considérable. Les prairies artificielles, la culture maraîchère, réussissent admirablement avec les irrigations à haute dose par les eaux d'égout.

On peut craindre que l'irrigation employée seule ne remplisse pas complètement le but, qu'en hiver, par exemple, la terre ne pouvant plus absorber autant d'eau qu'en été, le traitement des eaux d'égout ne vienne à en souffrir, et que l'assainissement reste par suite incomplet. Si cette crainte se réalise, le remède est indiqué : à côté des champs d'irrigation on peut réserver une surface suffisamment étendue à l'épuration proprement dite, ou, au besoin, comme on l'a fait momentanément à Berlin, créer des bassins de réserve où les eaux s'accumulent en temps humide pour être employées ultérieurement à l'irrigation. Mais, si l'on remarque que les prés Marcites à Milan sont irrigués toute l'année et que, dans beaucoup de pays, on pratique en grand l'irrigation d'hiver, on est en

droit d'admettre qu'il n'est pas impossible d'obtenir l'absorption des eaux d'égout en toutes saisons par la culture. La Ville de Paris, dans son jardin d'essai de Gennevilliers, y est parvenue sans peine, et, à son exemple, les cultivateurs pratiquent aujourd'hui sur les 600 hectares de la plaine l'irrigation continue.

496. Emploi agricole des eaux d'égout. — Les expériences poursuivies par la Ville de Paris à Clichy d'abord, puis à Gennevilliers, fournissent une démonstration remarquable de ce que peut donner l'emploi agricole des eaux d'égout.

En dépit des objections de toute nature auxquelles on s'est heurté, des préventions irraisonnées, des craintes chimériques pour la salubrité du voisinage ou le relèvement des nappes souterraines, en dépit des résistances et des procès, le progrès s'est affirmé d'une manière éclatante, la conviction s'est faite ; des grèves arides, des terres maigres et brûlantes, qui ne produisaient guère que des seigles et des pommes de terre, se sont peu à peu transformées en un pays de riche culture, dont les produits sont appréciés sur le marché. La valeur des terrains a quintuplé, le produit brut à l'hectare s'est élevé de 500 francs à près de 4.000 ; et cette augmentation de la richesse publique, obtenue sans que la salubrité ait jamais souffert, a déterminé un accroissement rapide de la population, qui a triplé en dix ans.

Aussi la Ville de Paris se propose-t-elle d'étendre l'emploi du même procédé à d'autres caps sablonneux des rives de la Seine, et en premier

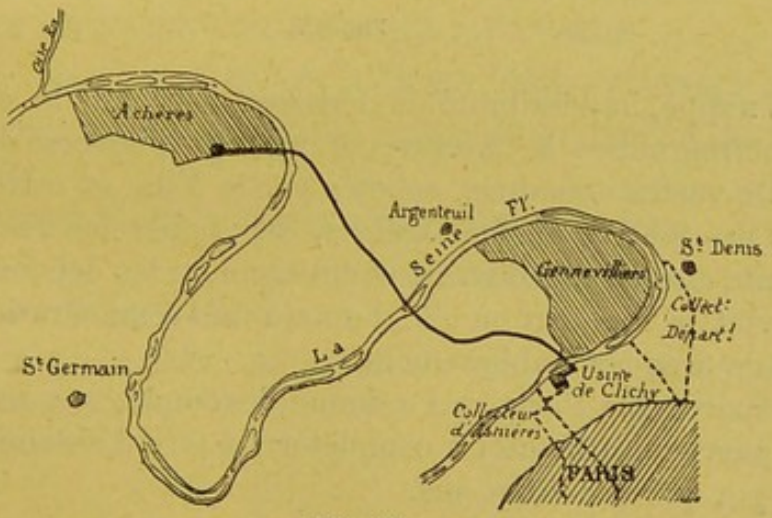


Fig. 599.

lieu à celui d'Achères, afin de parvenir à utiliser la totalité de ses eaux d'égout, à les épurer en masse, et à débarrasser définitivement le fleuve de cette source d'infection.

Mais, tandis qu'on discute encore cette extension, on a pris ailleurs pour point de départ les beaux résultats obtenus à Gennevilliers, et créé de toutes pièces sur ce modèle un système complet d'utilisation agricole des eaux d'égout. Berlin possède aujourd'hui des champs d'irrigation,

sur lesquels sont employées les eaux d'égout, refoulées par les usines auxquelles aboutissent ses collecteurs ; malgré les conditions défavorables qu'on y a rencontrées, faible épaisseur du terrain perméable, proxi-

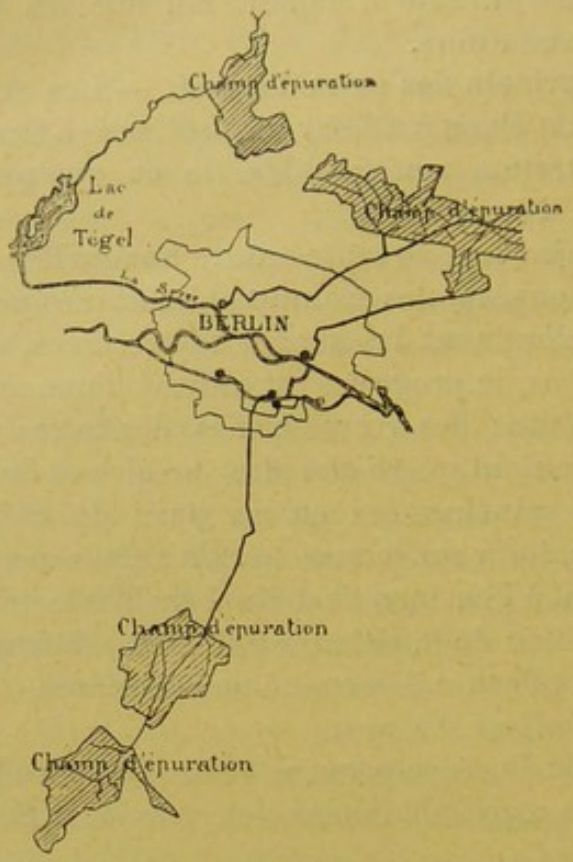


FIG. 600.

mité de la nappe, impossibilité de dépasser par suite la dose de 10.000 à 12.000 mètres cubes à l'hectare, il n'est plus déversé d'eau d'égout à la Sprée. De vastes domaines, achetés par la Ville et cultivés en régie, produisent des fourrages, des légumes, etc ; le revenu de l'exploitation, toute récente encore, ne couvre pas entièrement les dépenses ; mais déjà l'on entrevoit le moment où elle donnera une rémunération convenable du capital de premier établissement.

Il faut espérer que Paris, qui a donné l'exemple, ne restera pas en arrière et parviendra bientôt à compléter l'œuvre d'assainissement commencée il y a quelque vingt ans.

ANNEXES

I. — *ECOULEMENT DE L'EAU DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS. VALEURS DE* $\frac{RI}{U^2}$

II. — *ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LES TUYAUX. TABLE D'APRÈS LA FORMULE DE PRONY.*

III. — *ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LES TUYAUX. COEFFICIENT* b_1 *D'APRÈS DARCY ET BAZIN.*

IV. — *TYPE DE PROGRAMME ET CAHIER DES CHARGES POUR LA FOURNITURE ET L'INSTALLATION DE MACHINES ÉLÉVATOIRES PAR VOIE DE CONCOURS.*

V. — *EAUX DE PARIS : DEVIS ET CAHIER DES CHARGES POUR LA FOURNITURE DES TUYAUX DE FONTE.*

VI. — *EAUX DE PARIS : TUYAUX ET RACCORDS.*

VII. — *Ib. DEVIS, CAHIER DES CHARGES ET BORDEREAU DES PRIX DE L'ENTRETIEN DE LA FONTAINERIE.*

VIII. — *EAUX DE PARIS : SÉRIE COMPLÉMENTAIRE.*

IX. — *Ib. ARRÊTÉ RÉGLEMENTAIRE SUR LES COMPTEURS D'EAU.*

X. — *EAUX DE PARIS : RÈGLEMENT SUR LES ABONNEMENTS AUX EAUX.*

I

ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS

TABLE

DONNANT LES VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$ CORRESPONDANT AUX VALEURS

DU RAYON MOYEN R COMPRISES ENTRE 0m,01 ET 6m,00

D'après Darcy et Bazin.

VALEURS DE R	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$			
	PAROIS TRÈS UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin)	PAROIS UNIES (planches, pierres de taille, etc.)	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons)	PAROIS EN TERRE
0,01	0,000 600	»	»	»
0,02	0,000 375	0,000 855	»	»
0,03	0,000 300	0,000 633	»	»
0,04	0,000 262	0,000 522	»	»
0,05	0,000 240	0,000 456	0,001 440	»
0,06	0,000 225	0,000 412	0,001 240	»
0,07	0,000 214	0,000 380	0,001 097	»
0,08	0,000 206	0,000 356	0,000 990	»
0,09	0,000 200	0,000 338	0,000 907	»
0,10	0,000 195	0,000 323	0,000 840	0,003 780
0,11	0,000 191	0,000 311	0,000 785	0,003 462
0,12	0,000 188	0,000 301	0,000 740	0,003 197
0,13	0,000 185	0,000 292	0,000 702	0,002 972
0,14	0,000 182	0,000 285	0,000 669	0,002 780
0,15	0,000 180	0,000 279	0,000 640	0,002 613
0,16	0,000 178	0,000 273	0,000 615	0,002 468
0,17	0,000 176	0,000 268	0,000 593	0,002 339
0,18	0,000 175	0,000 264	0,000 573	0,002 224
0,19	0,000 174	0,000 260	0,000 556	0,002 122
0,20	0,000 172	0,000 256	0,000 540	0,002 030
0,21	0,000 171	0,000 253	0,000 526	0,001 947
0,22	0,000 170	0,000 250	0,000 513	0,001 871
0,23	0,000 170	0,000 248	0,000 501	0,001 802
0,24	0,000 169	0,000 245	0,000 490	0,001 738
0,25	0,000 168	0,000 243	0,000 480	0,001 680
0,26	0,000 167	0,000 241	0,000 471	0,001 626
0,27	0,000 167	0,000 239	0,000 462	0,001 576
0,28	0,000 166	0,000 237	0,000 454	0,001 530
0,29	0,000 166	0,000 236	0,000 447	0,001 487
0,30	0,000 165	0,000 234	0,000 440	0,001 447
0,31	0,000 165	0,000 233	0,000 434	0,001 409

VALEURS DE R	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$ — PAROIS TRÈS UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin)	PAROIS UNIES (planches, pierres de taille, etc.)	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons)	PAROIS EN TERRE
0,32	0,000 164	0,000 232	0,000 428	0,001 374
0,33	0,000 164	0,000 230	0,000 422	0,001 341
0,34	0,000 163	0,000 229	0,000 416	0,001 309
0,35	0,000 163	0,000 228	0,000 411	0,001 280
0,36	0,000 163	0,000 227	0,000 407	0,001 252
0,37	0,000 162	0,000 226	0,000 402	0,001 226
0,38	0,000 162	0,000 225	0,000 398	0,001 201
0,39	0,000 162	0,000 224	0,000 394	0,001 177
0,40	0,000 161	0,000 223	0,000 390	0,001 155
0,41	0,000 161	0,000 222	0,000 386	0,001 134
0,42	0,000 161	0,000 222	0,000 383	0,001 113
0,43	0,000 160	0,000 221	0,000 380	0,001 094
0,44	0,000 160	0,000 220	0,000 376	0,001 075
0,45	0,000 160	0,000 220	0,000 373	0,001 058
0,46	0,000 160	0,000 219	0,000 370	0,001 041
0,47	0,000 160	0,000 218	0,000 368	0,001 025
0,48	0,000 159	0,000 218	0,000 365	0,001 009
0,49	0,000 159	0,000 217	0,000 362	0,000 994
0,50	0,000 159	0,000 217	0,000 360	0,000 980
0,51	0,000 159	0,000 216	0,000 358	0,000 966
0,52	0,000 159	0,000 216	0,000 355	0,000 953
0,53	0,000 158	0,000 215	0,000 353	0,000 940
0,54	0,000 158	0,000 215	0,000 351	0,000 928
0,55	0,000 158	0,000 214	0,000 349	0,000 916
0,56	0,000 158	0,000 214	0,000 347	0,000 905
0,57	0,000 158	0,000 213	0,000 345	0,000 894
0,58	0,000 158	0,000 213	0,000 343	0,000 883
0,59	0,000 158	0,000 213	0,000 342	0,000 873
0,60	0,000 158	0,000 212	0,000 340	0,000 863
0,61	0,000 157	0,000 212	0,000 338	0,000 854
0,62	0,000 157	0,000 211	0,000 337	0,000 845
0,63	0,000 157	0,000 211	0,000 335	0,000 836
0,64	0,000 157	0,000 211	0,000 334	0,000 827
0,65	0,000 157	0,000 210	0,000 332	0,000 818
0,66	0,000 157	0,000 210	0,000 331	0,000 810
0,67	0,000 157	0,000 210	0,000 330	0,000 802
0,68	0,000 157	0,000 210	0,000 328	0,000 795
0,69	0,000 157	0,000 209	0,000 327	0,000 787
0,70	0,000 156	0,000 209	0,000 326	0,000 780
0,71	0,000 156	0,000 209	0,000 325	0,000 773
0,72	0,000 156	0,000 208	0,000 323	0,000 766
0,73	0,000 156	0,000 208	0,000 322	0,000 759
0,74	0,000 156	0,000 208	0,000 321	0,000 753
0,75	0,000 156	0,000 208	0,000 320	0,000 747
0,76	0,000 156	0,000 208	0,000 319	0,000 741
0,77	0,000 156	0,000 207	0,000 318	0,000 735
0,78	0,000 156	0,000 207	0,000 317	0,000 729
0,79	0,000 156	0,000 207	0,000 326	0,000 723
0,80	0,000 156	0,000 207	0,000 315	0,000 718
0,81	0,000 156	0,000 206	0,000 314	0,000 712
0,82	0,000 155	0,000 206	0,000 313	0,000 707
0,83	0,000 155	0,000 206	0,000 312	0,000 702
0,84	0,000 155	0,000 206	0,000 311	0,000 697
0,85	0,000 155	0,000 206	0,000 311	0,000 692
0,86	0,000 155	0,000 205	0,000 310	0,000 687
0,87	0,000 155	0,000 205	0,000 309	0,000 682
0,88	0,000 155	0,000 205	0,000 308	0,000 678
0,89	0,000 155	0,000 205	0,000 307	0,000 673
0,90	0,000 155	0,000 205	0,000 307	0,000 669
0,91	0,000 155	0,000 205	0,000 306	0,000 665
0,92	0,000 155	0,000 204	0,000 305	0,000 660
0,93	0 000 155	0,000 204	0,000 305	0,000 656
0,94	0,000 155	0,000 204	0,000 304	0,000 652

VALEURS DE R	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$			
	PAROIS TRÈS UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin)	PAROIS UNIES (planches, pierres de taille, etc.)	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons)	PAROIS EN TERRE
0,95	0,000 155	0,000 204	0,000 303	0,000 648
0,96	0,000 155	0,000 204	0,000 303	0,000 645
0,97	0,000 155	0,000 204	0,000 302	0,000 641
0,98	0,000 155	0,000 204	0,000 301	0,000 637
0,99	0,000 155	0,000 203	0,000 301	0,000 634
1,00	0,000 155	0,000 203	0,000 300	0,000 630
1,02	0,000 154	0,000 203	0,000 299	0,000 623
1,04	0,000 154	0,000 203	0,000 298	0,000 617
1,06	0,000 154	0,000 203	0,000 297	0,000 610
1,08	0,000 154	0,000 202	0,000 296	0,000 604
1,10	0,000 154	0,000 202	0,000 295	0,000 598
1,12	0,000 154	0,000 202	0,000 294	0,000 592
1,14	0,000 154	0,000 202	0,000 293	0,000 587
1,16	0,000 154	0,000 201	0,000 292	0,000 582
1,18	0,000 154	0,000 201	0,000 291	0,000 577
1,20	0,000 154	0,000 201	0,000 290	0,000 572
1,22	0,000 154	0,000 201	0,000 289	0,000 567
1,24	0,000 154	0,000 201	0,000 288	0,000 562
1,26	0,000 154	0,000 201	0,000 288	0,000 558
1,28	0,000 154	0,000 200	0,000 287	0,000 553
1,30	0,000 153	0,000 200	0,000 286	0,000 549
1,32	0,000 153	0,000 200	0,000 285	0,000 545
1,34	0,000 153	0,000 200	0,000 285	0,000 541
1,36	0,000 153	0,000 200	0,000 284	0,000 537
1,38	0,000 153	0,000 200	0,000 283	0,000 534
1,40	0,000 153	0,000 199	0,000 283	0,000 530
1,42	0,000 133	0,000 199	0,000 282	0,000 526
1,44	0,000 153	0,000 199	0,000 282	0,000 523
1,46	0,000 153	0,000 199	0,000 281	0,000 520
1,48	0,000 153	0,000 199	0,000 281	0,000 516
1,50	0,000 153	0,000 199	0,000 280	0,000 513
1,52	0,000 153	0,000 199	0,000 279	0,000 510
1,54	0,000 153	0,000 199	0,000 279	0,000 507
1,56	0,000 153	0,000 199	0,000 278	0,000 504
1,58	0,000 153	0,000 198	0,000 278	0,000 502
1,60	0,000 153	0,000 198	0,000 277	0,000 499
1,62	0,000 153	0,000 198	0,000 277	0,000 496
1,64	0,000 153	0,000 198	0,000 277	0,000 493
1,66	0,000 153	0,000 198	0,000 276	0,000 491
1,68	0,000 153	0,000 188	0,000 276	0,000 488
1,70	0,000 153	0,000 198	0,000 275	0,000 486
1,72	0,000 153	0,000 198	0,000 275	0,000 483
1,74	0,000 153	0,000 198	0,000 274	0,000 481
1,76	0,000 153	0,000 198	0,000 274	0,000 479
1,78	0,000 153	0,000 197	0,000 274	0,000 477
1,80	0,000 153	0,000 167	0,000 273	0,000 474
1,82	0,000 152	0,000 197	0,000 273	0,000 472
1,84	0,000 152	0,000 197	0,000 273	0,000 470
1,86	0,000 152	0,000 197	0,000 272	0,000 468
1,88	0,000 152	0,000 197	0,000 272	0,000 466
1,90	0,000 152	0,000 197	0,000 272	0,000 464
1,92	0,000 152	0,000 197	0,000 271	0,000 462
1,94	0,000 152	0,000 197	0,000 271	0,000 460
1,96	0,000 152	0,000 197	0,000 271	0,000 459
1,98	0,000 152	0,000 197	0,000 270	0,000 457
2,00	0,000 152	0,000 197	0,000 270	0,000 455
2,10	0,000 152	0,000 196	0,000 269	0,000 447
2,20	0,000 152	0,000 196	0,000 267	0,000 439

VALEURS DE R	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$			
	PAROIS TRÈS UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin)	PAROIS UNIES (planches, pierres de taille, etc.)	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moëllons)	PAROIS EN TERRE
2,30	0,000 152	0,000 196	0,000 266	0,000 432
2,40	0,000 152	0,000 196	0,000 265	0,000 426
2,50	0,000 152	0,000 195	0,000 264	0,000 420
2,60	0,000 152	0,000 195	0,000 263	0,000 415
2,70	0,000 152	0,000 195	0,000 252	0,000 410
2,80	0,000 152	0,000 195	0,000 261	0,000 405
2,90	0,000 152	0,000 195	0,000 261	0,000 401
3,00	0,000 152	0,000 194	0,000 260	0,000 397
3,10	0,000 151	0,000 194	0,000 259	0,000 393
3,20	0,000 151	0,000 194	0,000 259	0,000 389
3,30	0,000 151	0,000 194	0,000 258	0,000 386
3,40	0,000 151	0,000 194	0,000 258	0,000 383
3,50	0,000 151	0,000 194	0,000 257	0,000 380
3,60	0,000 151	0,000 194	0,000 257	0,000 377
3,70	0,000 151	0,000 194	0,000 256	0,000 375
3,80	0,000 151	0,000 194	0,000 256	0,000 372
3,90	0,000 151	0,000 193	0,000 255	0,000 370
4,00	0,000 151	0,000 193	0,000 255	0,000 368
4,25	0,000 151	0,000 193	0,000 254	0,000 362
4,50	0,000 151	0,000 193	0,000 253	0,000 358
4,75	0,000 151	0,000 193	0,000 253	0,000 354
5,00	0,000 151	0,000 193	0,000 252	0,000 350
5,25	0,000 151	0,000 193	0,000 251	0,000 347
5,50	0,000 151	0,000 192	0,000 251	0,000 344
5,75	0,000 151	0,000 192	0,000 250	0,000 341
6,00	0,000 151	0,000 192	0,000 250	0,000 338

II

ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LES TUYAUX

TABLE

DONNANT, POUR LES TUYAUX DES DIAMÈTRES EN USAGE DANS LA CANALISATION DE PARIS, LA DÉPENSE ET LA CHARGE CORRESPONDANT A UNE VITESSE COMPRISE ENTRE $0^m,01$ ET $2^m,00$, D'APRÈS LA FORMULE DE PRONY.

VITESSES MOYENNES	DIAMÈTRE : 0m,06 SECTION : 0m²,00282744		DIAMÈTRE : 0m,10 SECTION : 0m²,007854		DIAMÈTRE : 0m,15 SECTION : 0m²,0176715	
	Dépense en litres par seconde	Charge par mètre courant	Dépense en litres par seconde	Charge par mètre courant	Dépense en litres par seconde	Charge par mètre courant
m.	lit.	m.	lit.	m.	lit.	m.
0,01	0,0283	0,000 013 88	0,0785	0,000 008 33	0,1767	0,000 005 55
0,02	0,0565	0,000 032 40	0,1571	0,000 019 44	0,3534	0,000 012 96
0,03	0,0848	0,000 055 57	0,2356	0,000 033 34	0,5301	0,000 022 23
0,04	0,1131	0,000 083 37	0,3142	0,000 050 02	0,7069	0,000 033 35
0,05	0,1414	0,000 115 82	0,3927	0,000 069 49	0,8836	0,000 046 33
0,06	0,1696	0,000 152 90	0,4712	0,000 091 74	1,0603	0,000 061 16
0,07	0,1979	0,000 194 65	0,5498	0,000 116 79	1.2370	0,000 077 86
0,08	0,2262	0,000 241 02	0,6283	0,000 144 61	1,4137	0,000 096 41
0,09	0,2545	0,000 292 05	0,7069	0,000 175 23	1,5904	0,000 116 82
0,10	0,2827	0,000 347 72	0,7854	0,000 208 63	1,7671	0,000 139 09
0,11	0,3110	0,000 408 03	0,8639	0,000 244 82	1,9439	0,000 163 21
0,12	0,3393	0,000 472 98	0,9425	0,000 283 79	2,1206	0,000 189 19
0,13	0,3676	0,000 542 58	1,0210	0,000 325 55	2,2973	0,000 217 03
0,14	0,3958	0,000 616 82	1,0996	0,000 370 09	2,4740	0,000 246 73
0,15	0,4241	0,000 695 70	1,1781	0,000 417 42	2,6507	0,000 278 28
0,16	0,4524	0,000 779 23	1,2566	0,000 467 54	2,8274	0,000 311 69
0,17	0,4807	0,000 867 40	1,3352	0,000 520 44	3,0042	0,000 346 96
0,18	0,5089	0,000 960 22	1,4137	0,000 576 13	3,1809	0,000 384 09
0,19	0,5372	0,001 057 67	1,4923	0,000 634 60	3,3576	0,000 423 07
0,20	0,5655	0,001 159 78	1,5708	0,000 695 87	3,5343	0,000 463 91
0,22	0,6220	0,001 377 92	1,7278	0,000 826 75	3,8877	0,000 551 17
0,25	0,7069	0,001 739 93	1,9635	0,001 043 96	4,4179	0,000 695 97
0,28	0,7917	0,002 143 75	2,1992	0,001 286 25	4,9480	0,000 857 50
0,30	0,8482	0,002 436 18	2,3562	0,001 461 71	5,3014	0,000 974 47
0,32	0,9048	0,002 747 18	2,5132	0,001 648 31	5,6549	0,001 098 87
0,35	0,9896	0,003 248 52	2,7489	0,001 949 11	6,1850	0,001 299 41
0,38	1,0744	0,003 791 63	2,9846	0,902 274 98	6,7152	0,001 516 65
0,40	1,1310	0,004 176 93	3,1416	0,002 506 16	7,0686	0,001 670 77
0,42	1,1875	0,004 580 80	3,2986	0,002 748 48	7,4220	0,001 832 32
0,45	1,2723	0,005 221 43	3,5343	0,003 132 86	7,9522	0,002 088 57
0,48	1,3572	0,005 903 87	3,7700	0,003 542 32	8.4823	0,002 361 55
0,50	1,4137	0,006 382 03	3,9270	0,003 829 22	8,8357	0,002 552 81
0,55	1,5551	0,007 658 70	4,3197	0,004 595 22	9,7193	0,003 063 48
0,60	1,6965	0,009 051 47	4,7124	0,005 430 88	10,6029	0,003 620 59
0.65	1,8378	0,010 560 32	5,1051	0,006 336 19	11,4865	0,004 224 13
0,70	1,9792	0,012 185 27	5,4978	0,007 311 16	12,3700	0,004 874 11
0,75	2,1206	0,013 926 28	5,8905	0,008 355 77	13,2536	0,005 570 51
0,80	2,2619	0,015 783 40	6,2832	0,009 470 04	14,1372	0,006 313 36
0,85	2,4033	0,017 756 58	6,6759	0,010 653 95	15,0208	0,007 102 63
0,90	2,5447	0,019 845 87	7,0686	0,011 907 52	15,9043	0,007 938 35
0,95	2,6861	0,022 051 23	7,4613	0,013 230 74	16,7879	0,008 820 49
1,00	2,8274	0,024 372 70	7,8540	0,014 623 62	17,6715	0,009 749 08
1,05	2,9688	0,026 810 23	8,2467	0,016 086 14	18,5550	0,010 724 09
1,10	3,1102	0,029 363 87	8,6394	0,017 618 32	19,4386	0,011 745 55
1,15	3,2516	0.032 033 58	9,0321	0,019 220 15	20,3222	0,012 813 43
1,20	3,3929	0,034 819 38	9,4248	0,020 891 63	21,2058	0,013 927 75
1,25	3,5343	0,037 721 27	9,8175	0,022 632 76	22,0893	0,015 088 51
1,30	3,6757	0,040 739 23	10,2102	0,024 443 54	22,9729	0,016 295 69
1,35	3,8170	0,043 873 30	10,6029	0,026 323 98	23,8565	0,017 549 32
1,40	3,9584	0,047 123 43	10,9956	0,028 274 06	24,7401	0,018 849 37
1,45	4,0998	0,050 489 67	11,3883	0,030 293 80	25,6237	0,020 195 87
1,50	4,2412	0,053 971 98	11,7810	0,032 383 19	26,5072	0,021 588 79
1,55	4,3825	0,057 570 40	12,1737	0,034 542 24	27,3908	0,023 028 16
1,60	4,5239	0,061 284 88	12,5664	0,036 770 93	28,2744	0,024 513 95
1,65	4,6653	0,065 115 47	12,9591	0,039 069 28	29,1580	0,026 046 19
1,70	4,8066	0,069 062 13	13,3518	0,041 437 23	30,0415	0,027 624 85
1,75	4,9480	0,073 124 88	13,7445	0,043 874 93	30,9251	0,029 249 95
1,80	5,0894	0,077 303 72	14,1372	0,046 382 23	31,8087	0,030 921 49
1,85	5,2308	0,081 598 63	14,5299	0,048 959 18	32,6922	0,032 639 45
1,90	5,3721	0,086 009 65	14,9226	0,051 605 79	33,5758	0,034 403 86
1,95	5,5135	0,090 536 73	15,3153	0,054 322 04	34,4594	0,036 214 69
2,00	5,6549	0,095 179 92	15,7081	0,057 107 95	35,3430	0,038 071 97

VITESSES MOYENNES	DIAMÈTRE : 0m,20 SECTION : 0m²,031416		DIAMÈTRE : 0m,25 SECTION : 0m²,0490875		DIAMÈTRE : 0m,30 SECTION : 0m²,070686	
	Dépense en litres par seconde	Charge par mètre courant	Dépense en litres par seconde	Charge par mètre courant	Dépense en litres par seconde	Charge par mètre courant
m.	lit.	m.	lit.	m.	lit.	m.
0,01	0,3142	0,000 004 17	0,4909	0,000 003 33	0,7069	0,000 002 78
0,02	0,6283	0,000 009 72	0,9817	0,000 007 78	1,4137	0,000 006 48
0,03	0,9425	0,000 016 67	1,4726	0,000 013 34	2,1206	0,000 011 12
0,04	1,2566	0,000 025 01	1,9635	0,000 020 01	2,8274	0,000 016 68
0,05	1,5708	0,000 034 75	2,4544	0,000 027 80	3,5343	0,000 023 17
0,06	1,8850	0,000 045 87	2,9452	0,000 036 70	4,2412	0,000 030 58
0,07	2,1991	0,000 058 40	3,4361	0,000 046 72	4,9480	0,000 038 93
0,08	2,5133	0,000 072 31	3,9270	0,000 057 84	4,6549	0,000 048 21
0,09	2,8274	0,000 087 62	4,4179	0,000 070 09	6,3617	0,000 058 41
0,10	3,1416	0,000 104 32	4,9087	0,000 083 45	7,0686	0,000 069 55
0,11	3,4558	0,000 122 41	5,3996	0,000 097 93	7,7755	0,000 081 61
0,12	3,7699	0,000 141 90	5,8905	0,000 113 52	8,4823	0,000 094 60
0,13	4,0841	0,000 162 78	6,3814	0,000 130 22	9,1892	0,000 108 52
0,14	4,3982	0,000 185 05	6,8722	0,000 148 04	9,8960	0,000 123 37
0,15	4,7124	0,000 208 71	7,3631	0,000 166 97	10,6029	0,000 139 14
0,16	5,0265	0,000 233 77	7,8540	0,000 187 02	11,3098	0,000 155 85
0,17	5,3407	0,000 260 22	8,3449	0,000 208 18	12,0166	0,000 173 48
0,18	5,6549	0,000 288 07	8,8357	0,000 230 45	12,7235	0,000 192 05
0,19	5,9690	0,000 317 30	9,3266	0,000 253 84	13,4303	0,000 211 54
0,20	6,2832	0,000 347 94	9,8175	0,000 278 35	14,1372	0,000 231 96
0,22	6,9116	0,000 413 38	10,7992	0,000 330 70	15,5509	0,000 275 59
0,25	7,8540	0,000 521 98	12,2719	0,000 417 58	17,6715	0,000 347 99
0,28	8,7964	0,000 643 13	13,7445	0,000 514 50	19,7921	0,000 428 75
0,30	9,4248	0,000 730 86	14,7262	0,000 584 68	21,2058	0,000 487 24
0,32	10,0531	0,000 824 16	15,7080	0,000 659 32	22,6195	0,000 549 44
0,35	10,9956	0,000 974 56	17,1806	0,000 779 64	24,7401	0,000 649 71
0,38	11,9380	0,001 137 49	18,6532	0,000 909 99	26,8607	0,000 758 33
0,40	12,5664	0,001 253 08	19,6350	0,001 002 46	28,2744	0,000 835 39
0,42	13,1947	0,001 374 24	20,6167	0,001 099 39	29,6881	0,000 916 16
0,45	14,1372	0,001 566 43	22,0894	0,001 253 14	31,8087	0,001 044 29
0,48	15,0797	0,001 771 16	23,5620	0,001 416 93	33,9293	0,001 180 78
0,50	15,7080	0,001 914 61	24,5437	0,001 531 69	35,3430	0,001 276 41
0,55	17,2788	0,002 297 61	26,9981	0,001 838 09	38,8773	0,001 531 74
0,60	18,8496	0,002 715 44	29,4525	0,002 172 35	42,4116	0,001 810 30
0,65	20,4204	0,003 168 10	31,9069	0,002 534 48	45,9459	0,002 112 07
0,70	21,9912	0,003 655 58	34,3612	0,002 924 46	49,4802	0,002 437 06
0,75	23,5620	0,004 177 89	36,8156	0,003 342 31	53,0145	0,002 785 26
0,80	25,1328	0,004 735 02	39,2700	0,003 788 02	56,5488	0,003 156 68
0,85	26,7036	0,005 326 98	41,7244	0,004 261 58	60,0831	0,003 551 32
0,90	28,2744	0,005 953 76	44,1787	0,004 763 01	63,6174	0,003 969 18
0,95	29,8452	0,006 615 37	46,6331	0,005 292 30	67,1517	0,004 410 25
1,00	31,4160	0,007 311 81	49,0875	0,005 849 45	70,6860	0,004 874 54
1,05	32,9868	0,008 043 07	51,5418	0,006 434 46	74,2203	0,005 362 05
1,10	34,5576	0,008 809 16	53,9962	0,007 047 33	77,7546	0,005 872 78
1,15	36,1284	0,009 610 08	56,4506	0,007 688 06	81,2889	0,006 406 72
1,20	37,6992	0,010 445 82	58,9050	0,008 356 65	84,8232	0,006 963 88
1,25	39,2700	0,011 316 38	61,3593	0,009 053 10	88,3575	0,007 544 26
1,30	40,8408	0,012 221 77	63,8137	0,009 777 42	91,8918	0,008 147 85
1,35	42,4116	0,013 161 99	66,2681	0,010 529 59	95,4261	0,008 774 66
1,40	43,9824	0,014 137 03	68,7225	0,011 309 62	98,9604	0,009 424 69
1,45	45,5532	0,015 146 90	71,1769	0,012 117 52	102,4947	0,010 097 94
1,50	47,1240	0,016 191 60	73,6312	0,012 953 28	106,0290	0,010 794 40
1,55	48,6948	0,017 271 12	76,0856	0,013 816 90	109,5633	0,011 514 08
1,60	50,2656	0,018 385 47	78,5400	0,014 708 37	113,0976	0,012 256 98
1,65	51,8364	0,019 534 64	80,9944	0,015 627 71	116,6319	0,013 023 10
1,70	53,4072	0,020 718 64	83,4487	0,016 574 91	120,1662	0,013 812 43
1,75	54,9780	0,021 937 47	85,9031	0,017 549 97	123,7005	0,014 624 98
1,80	56,5488	0,023 191 12	88,3575	0,018 552 89	127,2348	0,015 460 75
1,85	58,1196	0,024 479 59	90,8118	0,019 583 67	130,7691	0,016 319 73
1,90	59,6904	0,025 802 90	93,2662	0,020 642 32	134,3034	0,017 201 93
1,95	61,2612	0,027 161 02	95,7206	0,021 728 82	137,8377	0,018 107 35
2,00	62,8320	0,028 553 98	98,1750	0,022 843 18	141,3720	0,019 035 99

VITESSES MOYENNES	DIAMÈTRE : 0m,10 SECTION : 0m²,125654		DIAMÈTRE : 0m,50 SECTION : 0m²,19635		DIAMÈTRE : 0m,66 SECTION : 0m²,282744	
	Dépense en litres par seconde	Charge par mètre courant	Dépense en litres par seconde	Charge par mètre courant	Dépense en litres par seconde	Charge par mètre courant
m.	lit.	m.	lit.	m.	lit.	m.
0,01	1,2566	0,000 002 09	1,9635	0,000 001 67	2,8274	0,000 001 39
0,02	2,5133	0,000 004 86	3,9270	0,000 003 89	5,6549	0,000 003 24
0,03	3,7699	0,000 008 34	5,8905	0,000 006 67	8,4823	0,000 005 56
0,04	5,0266	0,000 012 51	7,8540	0,000 010 01	11,3098	0,000 008 34
0,05	6,2832	0,000 017 38	9,8175	0,000 013 90	14,1372	0,000 011 58
0,06	7,5398	0,000 022 94	11,7810	0,000 018 35	16,9646	0,000 015 29
0,07	8,7965	0,029 029 20	13,7445	0,000 023 36	19,7921	0,000 019 47
0,08	10,0531	0,000 036 16	15,7080	0,000 028 92	22,6195	0,000 024 10
0,09	11,3098	0,000 043 81	17,6715	0,000 035 05	25,4470	0,000 029 21
0,10	12,5664	0,000 052 16	19,6350	0,000 041 73	28,2744	0,000 034 77
0,11	13,8230	0,000 061 21	21,5985	0,000 048 97	31,1018	0,000 040 80
0,12	15,0797	0,000 070 95	23,5620	0,000 056 76	33,9293	0,000 047 30
0,13	16,3363	0,000 081 39	25,5255	0,000 065 11	36,7567	0,000 054 26
0,14	17,5930	0,000 092 53	27,4890	0,000 074 02	39,5842	0,000 061 68
0,15	18,8496	0,000 104 36	29,4525	0,000 083 49	42,4116	0,000 069 57
0,16	20,1062	0,000 116 89	31,4160	0,000 093 51	45,2390	0,000 077 92
0,17	21,3629	0,000 130 11	33,3795	0,000 104 09	48,0665	0,000 086 74
0,18	22,6195	0,000 144 04	35,3430	0,000 115 23	50,8939	0,000 096 02
0,19	23,8762	0,000 158 65	37,3065	0,000 126 92	53,7214	0,000 105 77
0,20	25,1328	0,000 173 97	39,2700	0,000 139 17	56,5488	0,000 115 98
0,22	27,6461	0,000 206 69	43,1970	0,000 165 35	62,2037	0,000 137 79
0,25	31,4160	0,000 260 99	49,0875	0,000 208 79	70,6860	0,000 173 99
0,28	35,1859	0,000 321 57	54,9780	0,000 257 25	79,1683	0,000 214 38
0,30	37,6992	0,000 365 43	58,9050	0,000 292 34	84,8232	0,000 243 62
0,32	40,2125	0,000 412 08	62,8320	0,000 329 66	90,4781	0,000 274 72
0,35	43,9824	0,000 487 28	68,7225	0,000 389 82	98,9604	0,000 324 85
0,38	47,7523	0,000 568 75	74,6130	0,000 455 00	107,4427	0,000 379 16
0,40	50,2656	0,000 626 54	78,5400	0,000 501 23	113,0976	0,000 417 69
0,42	52,7789	0,000 687 12	82,4670	0,000 549 70	118,7525	0,000 458 08
0,45	56,5488	0,000 783 22	88,3575	0,000 626 57	127,2348	0,000 522 14
0,48	60,3187	0,000 885 58	94,2480	0,000 708 47	135,7171	0,000 590 39
0,50	62,8320	0,000 957 31	98,1750	0,000 765 84	141,3720	0,000 638 20
0,55	69,1152	0,001 148 81	107,9925	0,000 919 04	155,5092	0,000 765 87
0,60	75,3984	0,001 357 72	117,8100	0,001 086 18	169,6464	0,000 905 15
0,65	81,6816	0,001 584 05	127,6275	0,001 267 24	183,7836	0,001 056 03
0,70	87,9648	0,001 827 79	137,4450	0,001 462 23	197,9208	0,001,218 53
0,75	94,2480	0,002 088 95	147,2625	0,001 671 15	212,0580	0,001 392 63
0,80	100,5312	0,002 367 51	157,0800	0,001 894 01	226,1952	0,001 578 34
0,85	106,8144	0,002 663 49	166,8975	0,002 130 79	240,3324	0,001 775 66
0,90	113,0976	0,002 976 88	176,7150	0,002 381 50	254,4696	0,001 984 59
0,95	119,3808	0,003 307 69	186,5325	0,002 646 15	268,6068	0,002 205 12
1,00	125,6640	0,003 635 91	196,3500	0,002 924 72	282,7440	0,002 437 27
1,05	131,9472	0,004 021 54	206,1675	0,003 217 23	296,8812	0,002 681 02
1,10	138,2304	0,004 404 58	215,9850	0,003 523 66	311,0184	0,002 936 39
1,15	144,5136	0,004 805 04	225,8025	0,003 844 03	325,1556	0,003 203 36
1,20	150,7968	0,005 222 91	235,6200	0,004 178 33	339,2928	0,003 481 94
1,25	157,0800	0,005 658 19	245,4375	0,004 526 55	353,4300	0,003 772 13
1,30	163,3632	0,006 110 88	255,2550	0,004 888 71	367,5672	0,004 075 92
1,35	169,6464	0,006 581 00	265,0725	0,005 264 80	381,7044	0,004 387 33
1,40	175,9296	0,007 068 52	274,8900	0,005 654 81	395,8416	0,004 712 34
1,45	182,2128	0,007 573 45	284,7075	0,006 058 76	409,9788	0,005 048 97
1,50	188,4960	0,008 095 80	294 5250	0,006 476 54	424,1160	0,005 397 20
1,55	194,7792	0,008 635 56	304,3425	0,006 908 45	438,2532	0,005 757 04
1,60	201,0624	0,009 192 74	314,1600	0,007 354 19	452,3904	0,006 128 49
1,65	207,3456	0,009 767 32	323,9775	0,007 813 86	466,5276	0,006 511 55
1,70	213,6288	0,010 359 32	333,7950	0,008 287 46	480,6648	0,006 906 21
1,75	219,9120	0,010 968 74	343,6125	0,008 774 99	494,8020	0,007 312 49
1,80	226,1952	0,011 595 56	353,4300	0,009 276 45	508,9392	0,007 730 37
1,85	232,4784	0,012 239 80	363,2475	0,009 791 84	523,0764	0,008 159 86
1,90	238,7616	0,012 901 45	373,0650	0,010 321 16	537,2136	0,008 600 97
1,95	245,0448	0,013 580 51	382,8825	0,010 864 41	551,3508	0,009 053 67
2,00	251,3280	0,014 276 99	392,7000	0,011 421 59	565,4880	0,009 517 99

VITESSES MOYENNES	DIAMÈTRE : 0m,80 SECTION : 0m²,502656		DIAMÈTRE : 1m,00 SECTION : 0m²,7854		DIAMÈTRE : 1m,10 SECTION : 0m²,950634	
	Dépense en litres par seconde	Charge par mètre courant	Dépense en litres par seconde	Charge par mètre courant	Dépense en litres par seconde	Charge par mètre courant
m.	lit.	m.	lit.	m.	lit.	m.
0,01	5,0266	0,000 001 04	7,8540	0,000 000 83	9,5033	0,000 000 75
0,02	10,0531	0,000 002 43	15,7080	0,000 001 95	19,0067	0,000 001 77
0,03	15,0797	0,000 004 17	23,5620	0,000 003 33	28,5100	0,000 003 03
0,04	20,1062	0,000 006 25	31,4160	0,000 005 00	38,0134	0,000 004 54
0,05	25,1328	0,000 008 69	39,2700	0,000 006 95	47,5167	0,000 006 31
0,06	30,1594	0,000 011 47	48,1240	0,000 009 17	57,0200	0,000 008 34
0,07	35,1859	0,000 014 60	54,9780	0,000 011 68	66,5234	0,000 010 61
0,08	40,2125	0,000 018 08	62,8320	0,000 014 46	76,0267	0,000 013 15
0,09	45,2390	0,000 021 90	70,6860	0,000 017 52	85,5301	0,000 015 93
0,10	50,2656	0,000 026 08	78,5400	0,000 020 87	95,0334	0,000 018 96
0,11	55,2922	0,000 030 60	86,3940	0,000 024 48	104,5367	0,000 022 25
0,12	60,3187	0,000 035 47	94,2480	0,000 028 38	114,0401	0,000 025 80
0,13	65,3453	0,000 040 70	102,1020	0,000 032 55	123,5434	0,000 029 60
0,14	70,3719	0,000 046 26	109,9560	0,000 037 01	133,0468	0,000 033 65
0,15	75,3984	0,000 052 18	117,8100	0,000 041 75	142,5501	0,000 037 95
0,16	80,4250	0,000 058 45	125,6640	0,000 046 75	152,0534	0,000 042 55
0,17	85,4515	0,000 065 05	133,5180	0,000 052 04	161,5568	0,000 047 31
0,18	90,4781	0,000 072 02	141,3720	0,000 057 61	171,0601	0,000 052 37
0,19	95,5046	0,000 079 32	149,2260	0,000 063 46	180,5635	0,000 057 69
0,20	100,5312	0,000 086 98	157,0800	0,000 069 58	190,0668	0,000 063 26
0,22	110,5843	0,000 103 35	172,7880	0,000 082 68	209,0735	0,000 075 16
0,25	125,6640	0,000 130 50	196,3500	0,000 104 40	237,5835	0,000 094 90
0,28	140,7437	0,000 160 78	212,0580	0,000 128 62	266,0935	0,000 116 93
0,30	150,7968	0,000 182 72	235,6200	0,000 146 17	285,1002	0,000 132 89
0,32	160,8499	0,000 206 04	251,3280	0,000 164 83	304,1069	0,000 149 85
0,35	175,9296	0,000 243 64	274,8900	0,000 194 91	332,6169	0,000 177 19
0,38	191,0093	0,000 284 37	290,5980	0,000 227 50	361,1269	0,000 206 81
0,40	201,0624	0,000 313 27	314,1600	0,000 250 62	380,1336	0,000 227 83
0,42	211,1155	0,000 343 56	329,8680	0,000 274 85	399,1403	0,000 249 86
0,45	226,1952	0,000 391 61	353,4300	0,000 313 29	427,6503	0,000 284 80
0,48	241,2749	0,000 442 79	369,1380	0,000 354 23	456,1603	0,000 322 03
0,50	251,3280	0,000 478 65	392,7000	0,000 382 92	475,1670	0,000 348 11
0,55	276,4608	0,000 574 40	431,9700	0,000 459 52	522,6837	0,000 417 75
0,60	301,5936	0,000 678 86	471,2400	0,000 543 09	570,2004	0,000 493 72
0,65	326,7264	0,000 792 02	510,5100	0,000 633 62	617,7171	0,000 576 01
0,70	351,8592	0,000 913 90	549,7800	0,000 731 12	665,2337	0,000 664 65
0,75	376,9920	0,001 044 47	589,0500	0,000 835 58	712,7505	0,000 759 62
0,80	402,1248	0,001 183 75	628,3200	0,000 947 00	760,2672	0,000 860 92
0,85	427,2576	0,001 331 75	667,5900	0,001 065 40	807,7839	0,000 968 54
0,90	452,3904	0,001 488 44	706,8600	0,001 190 75	855,3006	0,001 082 50
0,95	477,5232	0,001 653 84	746,1300	0,001 323 07	902,8173	0,001 202 79
1,00	502,6560	0,001 817 95	785,4000	0,001 462 36	950,3340	0,001 329 42
1,05	527,7888	0,002 010 77	824,6700	0,001 608 61	997,8507	0,001 462 38
1,10	552,9216	0,002 202 29	863,9400	0,001 761 83	1·045,3674	0,001 601 67
1,15	578,0544	0,002 402 52	903,2100	0,001 922 01	1·092,8841	0,001 747 28
1,20	603,1872	0,002 611 45	942,4800	0,002 089 17	1·140,4008	0,001 899 24
1,25	628,3200	0,002 829 10	981,7500	0,002 263 28	1·187,9175	0,002 057 52
1,30	653,4528	0,003 055 44	1·021,0200	0,002 444 35	1·235,4342	0,002 222 14
1,35	678,5856	0,003 290 50	1·060,2900	0,002 632 40	1·282,9509	0,002 393 09
1,40	703,7184	0,003 534 26	1·099,5600	0,002 827 40	1·330,4676	0,002 570 37
1,45	728,8512	0,003 786 72	1·138,8300	0,003 029 38	1·377,9843	0,002 753 98
1,50	753,9840	0,004 047 90	1·178,1000	0,003 238 32	1·425,5010	0,002 943 92
1,55	779,1168	0,004 317 78	1·217,3700	0,003 454 22	1·473,0177	0,003 140 20
1,60	804,2496	0,004 596 37	1·256,6400	0,003 677 10	1·520,5344	0,003 342 81
1,65	829,3824	0,004 883 66	1·295,9100	0,003 906 93	1·568,0511	0,003 551 75
1,70	854,5152	0,005 179 66	1·335,1800	0,004 143 13	1·615,5678	0,003 767 02
1,75	879,6480	0,005 484 37	1·374,4500	0,004 387 50	1·663,0845	0,003 988 63
1,80	904,7808	0,005 797 78	1·413,7200	0,004 638 22	1·710,6012	0,004 216 56
1,85	929,9136	0,006 119 90	1·452,9900	0,004 895 92	1·758,1179	0,004 450 83
1,90	955,0464	0,006 450 73	1·492,2600	0,005 160 58	1·805,6346	0,004 691 44
1,95	980,1792	0,006 790 25	1·531,5300	0,005 432 20	1·853,1513	0,004 938 36
2,00	1·005,3120	0,007 138 50	1·570,8000	0,005 710 80	1·900,6680	0,005 191 63

TABLEAU

DONNANT POUR LES TUYAUX DES DIAMÈTRES USUELS, DE 0m,06 A 1m,10, LA CIRCONFÉRENCE, LA SECTION, LE RAYON MOYEN, LE VOLUME PAR MÈTRE LINÉAIRE.

DIAMÈTRE	CIRCONFÉRENCE	SECTION	RAYON MOYEN	VOLUME par MÈTRE LINÉAIRE
m.	m.	m²	m.	m³
0,06	0,1885	0,002 827	0,0150	0,002 827
0,10	0,3142	0,007 854	0,0250	0,007 854
0,15	0,4712	0,017 672	0,0375	0,017 672
0,20	0,6283	0,031 416	0,0500	0,031 416
0,25	0,7854	0,049 087	0,0625	0,049 087
0,30	0,9425	0,070 686	0,0750	0,070 686
0,35	1,0996	0,096 211	0,0875	0,096 211
0,40	1,2566	0,125 664	0,1000	0,125 664
0,50	1,5708	0,196 350	0,1250	0,196 350
0,60	1,8850	0,282 744	0,1500	0,282 744
0,80	2,5133	0,502 656	0,2000	0,502 656
1,00	3,1416	0,785,400	0,2500	0,785 400
1,10	3,4558	0,950 334	0,2750	0,950 334

III

ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LES TUYAUX

TABLE

DONNANT POUR LES TUYAUX DES DIAMÈTRES EN USAGE, COMPRIS ENTRE 0m,02 ET 1m,30, NEUFS OU DEPUIS LONGTEMPS EN SERVICE, LE COEFFICIENT b_1, D'APRÈS DARCY ET BAZIN.

DIAMÈTRE	RAYON	RAYON MOYEN R ou moitié du rayon	RACINE CARRÉE du rayon	CARRÉ du RAYON	SECTION du TUYAU	COEFFICIENT b_1	
						TUYAUX neufs	TUYAUX depuis longtemps en service
0,02	0,01	0,005	0,100	0,0001	0,000 314	0,001 154	0,002 308
0,027	0,0135	0,00675	0,116	0,00018	0,000 573	0,000 986	0,001 972
0,03	0,015	0,0075	0,122	0,00022	0,000 707	0,000 938	0,001 876
0,04	0,02	0,01	0,141	0,0004	0,001 256	0,000 830	0,001 660
0,05	0,025	0,0125	0,158	0,00062	0,001 963	0,000 765	0,001 530
0,054	0,027	0,0135	0,167	0,00073	0,002 293	0,000 746	0,001 492
0,06	0,03	0,015	0,173	0,0009	0,002 827	0,000 722	0,001 444
0,08	0,04	0,02	0,200	0,0016	0,005 027	0,000 668	0,001 336
0,081	0,0405	0,02025	0,201	0,00164	0,005 152	0,000 666	0,001 332
0,10	0,05	0,025	0,224	0,0025	0,007 854	0,000 636	0,001 272
0,12	0,06	0,03	0,245	0,0036	0,011 310	0,000 614	0,001 228
0,135	0,0675	0,03375	0,260	0,00456	0,014 325	0,000 602	0,001 204
0,15	0,075	0,0375	0,274	0,00562	0,017 671	0,000 593	0,001 186
0,162	0,081	0,0405	0,285	0,00656	0,020 609	0,000 586	0,001 172
0,18	0,09	0,045	0,300	0,0081	0,025 447	0,000 578	0,001 156
0,20	0,10	0,05	0,316	0,0100	0,031 416	0,000 571	0,001 142
0,216	0,108	0,054	0,329	0,01166	0,036 631	0,000 566	0,001 132
0,25	0,125	0,0625	0,354	0,01562	0,049 087	0,000 558	0,001 116
0,30	0,15	0,075	0,387	0,0225	0,070 686	0,000 550	0,001 100
0,325	0,1625	0,08125	0,403	0,02640	0,082 938	0,000 546	0,001 092
0,35	0,175	0,0875	0,418	0,03062	0,096 211	0,000 543	0,001 086
0,40	0,20	0,010	0,447	0,0400	0,125 664	0,000 539	0,001 078
0,45	0,225	0,1125	0,474	0,05062	0,159 043	0,000 535	0,001 070
0,50	0,25	0,125	0,500	0,0625	0,196 350	0,000 532	0,001 064
0,55	0,275	0,1375	0,524	0,0756	0,237 583	0,000 530	0,001 060
0,60	0,30	0,15	0,547	0,0900	0,282 744	0,000 528	0,001 056
0,65	0,325	0,1625	0,570	0,1060	0,331 831	0,000 526	0,001 052
0,70	0,35	0,175	0,592	0,1225	0,384 846	0,000 525	0,001 050
0,75	0,375	0,1875	0,612	0,1406	0,441 787	0,000 524	0,001 048
0,80	0,40	0,20	0,632	0,1600	0,502 656	0,000 523	0,001 046
0,85	0,425	0,2125	0,652	0,1806	0,567 451	0,000 522	0,001 044
0,90	0,45	0,225	0,670	0,2025	0,636 174	0,000 521	0,001 042
0,95	0,475	0,2375	0,689	0,2256	0,708 823	0,000 520	0,001 040
1,00	0,50	0,25	0,707	0,2500	0,785 400	0,000 519	0,001 038
1,05	0,525	0,2625	0,725	0,2756	0,865 904	0,000 518	0,001 036
1,10	0,55	0,275	0,742	0,3025	0,950 334	0,000 517	0,001 034
1,15	0,575	0,2875	0,758	0,3306	1,038 691	0,000 516	0,001 032
1,20	0,60	0,30	0,775	0,3600	1,130 976	0,000 515	0,001 030
1,25	0,625	0,3125	0,791	0,3906	1,227 187	0,000 514	0,001 028
1,30	0,65	0,325	0,806	0,4225	1,327 326	0,000 513	0,001 026

IV

DIRECTION DES TRAVAUX DE PARIS

USINE DE MAILLOT

CONCOURS

POUR

LA CONSTRUCTION ET L'INSTALLATION DE MACHINES ÉLÉVATOIRES

HYDRAULIQUES ET A VAPEUR

PROGRAMME ET CAHIER DES CHARGES

Objet du Concours.

ARTICLE PREMIER. — Le présent programme et cahier des charges a pour objet la construction et l'installation de pompes élévatoires actionnées par des moteurs hydrauliques et à vapeur, dans l'usine projetée à Maillot, pour élever au niveau de l'aqueduc collecteur de la Vanne les eaux provenant de la dérivation de la source de Cochepies.

Travail à produire. Force motrice disponible.

ART. 2. — La quantité d'eau à élever pourra atteindre 400 litres par seconde, elle s'abaissera jusqu'à 230 litres en temps de sécheresse.

L'eau se tiendra dans le puisard à une cote variant de 77 à 77^{m},85 au-dessus du niveau de la mer, et le plan d'eau normal dans l'aqueduc collecteur est à la cote 104,00, de sorte que l'élévation manométrique, calculée en tenant compte des pertes de charge résultant du passage de l'eau dans les conduites de refoulement, sera très voisine de 28 mètres.

On disposera, pour la mise en mouvement des moteurs hydrauliques, d'un volume d'eau variant de 2.500 litres par seconde, au maximum, jusqu'à un minimum de 1.000 litres dans les basses eaux, et d'une chute à peu près constante de 6 mètres de hauteur, le plan d'eau à l'amont étant à la cote 78,50.

La vapeur devra venir en aide à la force hydraulique et fournir, dans tous les cas, l'appoint nécessaire pour assurer l'élévation de la totalité de l'eau disponible.

Dispositions générales.

Art. 3. — L'usine sera située sur le territoire de la commune de Maillot.

. . . . . .

Le sol naturel, à l'emplacement choisi pour les bâtiments, est à peu près horizontal et à un niveau voisin de la cote 78,50.

Le plan annexé au présent programme indique la forme et l'étendue du terrain destiné à la construction de l'usine. Les dispositions d'ensemble qui y sont figurées n'ont d'autre valeur que celle d'un simple renseignement et n'ont rien d'obligatoire ni pour l'Administration, ni pour les concurrents.

Consistance de l'entreprise.

Art. 4. — L'entreprise comprend la fourniture, le transport et la pose des générateurs de vapeur, des moteurs et du système élévatoire, depuis les prises d'eau dans le canal d'amenée et dans le puisard d'aspiration jusqu'aux tubulures de raccordement avec la conduite de refoulement à la sortie des réservoirs d'air.

Elle comporte la fourniture et la mise en place de tous les appareils accessoires, de ceux de contrôle et de sûreté, tels que vannes régulatrices, grilles de défense, manomètres de pression et de vide, niveaux d'eau et d'air, indicateurs de niveau, flotteurs, compteurs de tours, clapets, soupapes, registres, etc., et, en général, de tous les engins et organes nécessaires au bon fonctionnement des machines, à l'observation continue et au réglage de la marche des appareils, de telle sorte qu'il n'y ait à pourvoir à aucune omission.

L'adjudicataire sera tenu en outre de livrer les pelles, ringards et autres outils nécessaires aux chauffeurs, ainsi que les clefs, tarauds, coussinets et filières pour tous les diamètres des boulons employés qui devront présenter le pas en usage au service municipal des machines.

Dispositions des machines

Art 5. — L'usine comprendra au moins un moteur à vapeur et deux moteurs hydrauliques, disposés de manière à fonctionner utilement quelle que soit la quantité d'eau motrice disponible entre les limites ci-dessus indiquées de 2.500 et de 1.000 litres par seconde. Chacun de ces moteurs devra pouvoir être mis isolément en marche.

Les générateurs seront au nombre de deux au moins, dont un de rechange. Ils seront timbrés à 6 kilogrammes.

Les pièces correspondantes des générateurs, des moteurs et des pompes devront être absolument semblables entre elles, afin de faciliter les rechanges.

Toutes les parties des chaudières et des machines devront être très aisément accessibles, de sorte qu'en tout temps la visite, le nettoyage, le graissage, le démontage de toutes les pièces, sans exception, et surtout des pistons et clapets, ainsi que les réparations d'entretien puissent se faire sans aucune difficulté. Des dispositions spéciales seront prises pour rendre pratique le nettoyage fréquent des générateurs et assurer la vidange, à froid ou à chaud sous pression, des chaudières, bouilleurs, etc.

La vitesse des pistons des pompes élévatoires ne devra pas être supérieure à $1^{m},20$, et le mouvement des clapets d'aspiration et de refoulement sera parfaitement guidé et rendu très apparent à la vue, si cette vitesse dépasse $0^{m},50$.

Sauf ces conditions, les concurrents pourront proposer l'adoption des types et des dispositions qui leur paraîtront les plus convenables. Il est bien entendu, d'ailleurs, que chacun d'eux aura la faculté de présenter plusieurs combinaisons.

Rendement garanti.

ART. 6. — Les concurrents devront préciser dans leur soumission :

1° Pour les machines hydrauliques, le coefficient de rendement en eau montée qu'ils s'engagent à obtenir. Ce coefficient, c'est-à-dire le rapport entre le travail brut de la chute d'eau et le travail utile moyen, correspondant à l'élévation de l'eau refoulée par les machines en service fonctionnant à une allure quelconque, et calculée en tenant compte des pertes de charge dans la conduite de refoulement, ne devra pas être inférieur à 0,60.

2° Pour les engins à vapeur, le maximum de la consommation moyenne de charbon qu'ils entendent garantir par heure et par force de cheval de 75 kilogrammètres mesurés en eau montée.

Ce maximum ne devra pas dépasser $1^{kg},80$, le combustible pris pour type étant le charbon actuellement fourni au service municipal des machines par la Compagnie d'Aniche, en vertu du marché du 16 octobre 1879.

La constatation des résultats obtenus sera faite conformément aux stipulations de l'article 18 ci-après.

. . . . . .

Plans et devis à fournir.

ART. 8. — Les concurrents devront déposer en même temps que leurs soumissions :

1° Les plans, coupes et élévations des appareils et les dessins détaillés des diverses parties des moteurs, de la commande, des pompes et des clapets; ces dessins seront soigneusement cotés et suffisants pour permettre une appréciation exacte du système proposé;

2° Un devis ou détail estimatif indiquant le poids approximatif des diverses pièces, les calculs de débit et de résistance, les pressions *maxima* que supporteront les principales pièces frottantes ;

3° Un mémoire explicatif décrivant et justifiant les dispositions et dimensions proposées, le système de distribution de vapeur, le mode et la proportion de la détente, le jeu du régulateur, etc.

Les dessins devront être accompagnés de l'étude complète des massifs de fondation des bâtiments et de la fumisterie, quoique ces travaux ne fassent pas partie de l'entreprise et que l'administration se réserve toute liberté à cet égard.

Certificats de capacité.

Art. 9. — Quinze jours au moins avant celui qui sera fixé par M. le Préfet de la Seine, pour le dépôt des soumissions, les constructeurs mécaniciens qui voudront concourir devront déposer les certificats de capacité constatant, suivant l'usage, les travaux du même genre qu'ils ont précédemment exécutés, la manière dont ils ont rempli leurs engagements et les conditions dans lesquelles se sont effectués les règlements de comptes.

Ces certificats seront soumis à la Commission spéciale chargée par arrêté préfectoral de l'examen des propositions présentées par les concurrents.

Dépôt des soumissions.

Art. 10. — Le jour fixé par M. le Préfet de la Seine, chacun des concurrents déposera sur le bureau de la Commission spéciale :

1° Un premier pli cacheté contenant le détail des projets, dessins, devis et mémoire, dont il a été parlé à l'article 8;

2° Un second pli cacheté, renfermant un acte par lequel le soumissionnaire s'engagera à verser à la Caisse municipale, dans les trois jours qui suivront la décision favorable de l'Administration, une somme de douze mille francs (12.000 fr.) à titre de cautionnement, et, en outre, une soumission conforme au modèle de l'affiche et qui portera le prix à forfait auquel le soumissionnaire s'engage à faire la fourniture, le transport et la pose des machines, ainsi que le minimum de rendement et le maximum de consommation qu'il entend garantir, comme il a été dit ci-dessus.

La Commission arrêtera, séance tenante, et fera connaître aux soumissionnaires la liste des concurrents qui, ayant fourni des certificats de capacité jugés suffisants et satisfait aux conditions précédemment énumérées, seront définitivement appelés à prendre part au concours.

Désignation de l'adjudicataire.

Art. 11. — La Commission examinera ensuite les divers projets, et, dans le délai de six semaines, elle les transmettra, avec ses propositions, à M. le Préfet de la Seine, qui désignera l'adjudicataire.

L'Administration, ayant à mettre en balance le minimum de rendement garanti, les dépenses d'établissement, tant pour les machines que pour les bâtiments, les avantages des divers projets au point de vue de l'entretien, etc., ne sera liée dans son choix ni par les conditions de prix, ni par aucune autre circonstance; les concurrents évincés ne pourront exercer aucun recours contre sa décision, ni réclamer aucune indemnité à quelque titre que ce soit.

. . . . . .

Atlas des dessins d'exécution.

ART. 12. — Dans un délai de quarante jours après l'approbation de la soumission, l'entrepreneur devra fournir tous les dessins d'ensemble (au trait, sur papier blanc) des machines et des pompes, sous peine, par chaque jour de retard, d'une retenue de 10 francs.

Il aura un délai supplémentaire de deux mois pour fournir une autre expédition des dessins d'ensemble sur toile à calquer et une expédition sur papier blanc des dessins de détail de toutes les pièces. Dans le cas où ce délai serait dépassé, il serait fait une retenue de 5 fr. par jour de retard.

Après la réception provisoire, et dans les trois mois qui suivront, il devra, sous peine de l'application de la même retenue, fournir deux autres expéditions sur papier blanc des dessins d'ensemble et de détails rendus parfaitement conformes à l'exécution, de manière que l'Administration se trouve nantie d'une double statistique rigoureusement exacte des machines qui font l'objet de la présente entreprise.

Tous les dessins seront à une échelle suffisante et cotés avec le plus grand soin, de telle sorte que l'on puisse y trouver aisément, et sans aucune exception, les indications nécessaires pour l'établissement des massifs, le montage, la réparation et même le remplacement des diverses parties des machines.

Ils auront, autant que possible, un format uniforme et se prêteront à un groupement en atlas.

Modifications au projet.

ART. 13. — L'entrepreneur ne pourra apporter en cours d'exécution aucune modification aux dispositions du projet accepté, à la forme et aux poids des principales pièces, à la nature des matériaux employés, etc., sans en informer les Ingénieurs et sans en avoir obtenu l'autorisation. Cette autorisation laissera d'ailleurs intacte sa responsabilité au point de vue du bon fonctionnement et du rendement des machines.

Exécution des travaux.

ART. 14. — Tous les ouvrages seront loyalement exécutés dans toutes leurs parties et composés de matériaux de la meilleure qualité.

L'entrée des usines ou des ateliers où les diverses parties des machines seront travaillées et ajustées sera toujours accordée aux ingénieurs ou à leurs délégués qui pourront y faire, aux frais du

constructeur, les épreuves d'usage pour s'assurer de la qualité et de la résistance des matériaux employés.

Tous les appareils accessoires seront des meilleurs types; ils devront, d'ailleurs, être soumis à l'acceptation des ingénieurs.

Les robinets-vannes seront du modèle adopté par la ville de Paris (système Herdevin à calotte hémisphérique amovible).

. . . . . .

Réception provisoire.

Art. 16. — Lorsque l'entrepreneur aura déclaré que l'installation des machines est terminée, il sera fait une première série d'essais sous la direction des ingénieurs, pour reconnaître si le système est en état de fonctionner convenablement.

Dès qu'à la suite de ces essais les machines auront pu fournir quinze jours consécutifs de marche normale, il sera procédé par les ingénieurs à la réception provisoire.

L'entrepreneur supportera tous les frais de ces premiers essais, tels que personnel des mécaniciens et autres ouvriers, huile, graisse, chiffons, éclairage, etc., sauf le charbon consommé qui sera fourni par l'Administration.

Délai de garantie.

Art. 17. — Le délai de garantie sera de deux ans après la réception provisoire.

Pendant le délai de garantie, l'entrepreneur restera complètement responsable du bon fonctionnement de ses appareils et devra remplacer à ses frais toute pièce qui viendrait à manquer soit par vice de construction ou de pose, soit par mauvaise qualité de la matière, soit par insuffisance dans les dimensions.

Dans le cas où il s'élèverait une contestation quelconque entre l'entrepreneur et les ingénieurs au sujet de la cause d'un accident et de l'imputation des frais de réparation, le différend serait soumis à M. le Directeur des Travaux, qui prononcerait en dernier ressort.

Les réparations devront toujours être faites de manière à n'apporter aucune gêne dans la régularité du service.

Toute avarie survenue dans les appareils pendant le délai de garantie sera réparée d'office, aux frais de l'entrepreneur, si celui-ci néglige de faire sans délai les réparations nécessaires, et après qu'un procès-verbal circonstancié de l'avarie aura été dressé et lui aura été régulièrement notifié.

Constatation de rendement.

Art. 18. — Pendant le délai de garantie, on fera, aussi souvent que l'Administration le jugera convenable, des expériences destinées à constater le rendement des machines; à trois reprises différentes, ces expériences pourront être prolongées pendant quinze à vingt jours consécutifs; et c'est la moyenne des résultats obtenus pendant les quarante derniers jours d'expériences qui donnera le rendement pratique et la

consommation normale à comparer avec les chiffres garantis par l'adjudicataire.

Pendant les expériences, l'allure des machines et le débit de l'eau motrice devra varier entre les limites extrêmes admises.

On constatera :

1° Le poids du charbon consommé ;

2° Le poids de l'eau vaporisée, soit par jaugeage direct, soit au moyen de compteurs ;

3° La dépense d'eau motrice, soit en observant, pendant le fontionnement des machines, le mouvement uniforme de l'eau dans la rigole maçonnée qui servira de canal d'amenée, soit en jaugeant le débit de ce canal par le moyen de vannes ou de déversoirs en mince paroi, avant et après la mise en marche des moteurs, et faisant application des formules usuelles avec les coefficients fournis pour des cas analogues par les tables les plus récentes et les plus estimées ;

4° Le volume d'eau refoulé, par des jaugeages au moyen d'une bâche ou d'un déversoir au sommet de la conduite ascensionnelle ;

5° La chute motrice, par un nivellement de l'eau dans les canaux d'amenée et de fuite à 50 mètres en amont et à 20 mètres en aval de l'axe de l'usine ;

6° La hauteur de refoulement, par une lecture au manomètre placé à la base de la conduite ascensionnelle et un nivellement, destiné à déterminer la hauteur de ce manomètre au-dessus du plan d'eau dans le puisard d'aspiration.

Pénalités.

ART. 19. — Au cas où le rendement des machines hydrauliques, obtenu comme il vient d'être dit, serait inférieur à celui qui aura été garanti par l'entrepreneur, il sera fait sur le prix de la fourniture une retenue de quinze cents francs (1.500 fr.) par chaque centième en moins jusqu'à 0,60. Si le coefficient de rendement était inférieur à 0,60, la retenue serait portée à 3.000 fr. pour chacun des cinq premiers centièmes au-dessous de ce chiffre, puis à cinq mille francs (5.000 fr.), pour chaque nouveau centième. Enfin, si le coefficient de rendement descendait à 0,50, les machines hydrauliques pourraient être refusées.

De même, si pour les appareils à vapeur la consommation moyenne de charbon par heure et par force de cheval en eau montée dépasse le chiffre maximum indiqué dans la soumission, il sera fait sur le prix de la fourniture une retenue de trois cents francs (300 fr.) par décagramme de charbon consommé en sus du maximum soumissionné. Si la consommation moyenne dépassait 1 kil. 80, il serait fait par chaque décagramme en sus une retenue de six cents francs (600 fr.). Enfin, si la consommation moyenne était supérieure à 2 kilogrammes, les machines pourraient être refusées.

En cas de refus des machines, l'entrepreneur serait tenu de les enlever

dans le délai qui lui serait fixé, et il devrait restituer tous les acomptes qu'il aurait reçus.

Mode de payement

Art. 20. — Il sera délivré à l'entrepreneur, au fur et à mesure de l'avancement des travaux, des acomptes sur le prix qu'il aura consenti. Avant le commencement de la pose, ces acomptes ne pourront pas dépasser les trois dixièmes du prix total, et ils devront être justifiés par des états de situation dressés contradictoirement et qui constitueront d'ores et déjà pour la Ville un droit de propriété.

Ils atteindront au plus les sept dixièmes avant les premiers essais de mise en marche.

Il sera délivré un acompte d'un dixième à la réception provisoire, et chacun des deux derniers dixièmes sera payé, s'il y a lieu, à l'expiration de la première et de la deuxième année de garantie.

. . . . . .

Le présent programme et cahier des charges dressé, etc.

Paris, le 15 septembre 1882.

DIRECTION DES TRAVAUX DE PARIS

DEVIS ET CAHIER DES CHARGES

DE

LA FOURNITURE DES TUYAUX ET PIÈCES EN FONTE

PENDANT LES ANNÉES 1886, 1887 ET 1888.

CHAPITRE PREMIER

Indications générales.

Objet de l'entreprise

ARTICLE PREMIER. — L'entreprise s'applique à la fourniture pendant les années 1886, 1887 et 1888 :

Des tuyaux et des pièces de fonte nécessaires aux conduites d'eau, dont l'entretien et la pose sont réservés aux entrepreneurs d'entretien de la fontainerie de la Ville de Paris.

L'adjudicataire devra fournir, en outre, un certain nombre de plaques et tampons de regards pour égouts.

. . . . . .

Dimensions et poids des pièces.

ART. 4. — Les pièces présenteront exactement les dimensions et les formes indiquées à l'album des types joint au présent devis, et elles devront avoir également les poids inscrits dans les tableaux insérés audit album.

CHAPITRE II

Qualité de la fonte. — Mode d'exécution.

Moulage et coulage.

ART. 5. — La fonte sera de la meilleure qualité, point aigre, bien homogène, susceptible d'être travaillée à la lime, sans fente ni écornure.

Pour en constater la qualité, on la soumettra à l'épreuve suivante : Il sera coulé par chaque fusion une paire de barreaux d'épreuve dans du sable très sec ; l'agent de la Ville présent à la fusion déterminera le moment où les barreaux doivent être coulés.

Ces barreaux auront 4 centimètres d'équarrissage et seront terminés par des appendices disposés en vue de s'opposer au retrait. Un barreau, placé horizontalement sur deux couteaux espacés de 16 centimètres, devra supporter sans se rompre le choc d'un mouton de 20 kilogrammes, tombant librement sur le barreau de $0^m,40$ de hauteur, au milieu de l'intervalle des points d'appui.

L'enclume supportant les couteaux aura un poids d'au moins 80 kilogrammes.

Les barreaux pourront aussi être travaillés au tour, puis soumis à des épreuves de résistance, à la traction ou à la flexion. A la traction, ils ne devront se rompre que sous un effort de $13^{kg},5$ par millimètre carré.

Tous les tuyaux droits seront coulés debout.

Le moulage devra être fait avec des précautions telles qu'il ne se trouve aucune bavure. Les parois intérieures des pièces devront être lisses et parfaitement nettoyées de sable. Les brides ne pourront être percées que suivant les modèles étalons en zinc, indiquant l'espacement et les dimensions des trous, et qui seront remis à l'entrepreneur par l'Aministration. Les brides des pièces de plus de $0^m,40$ de diamètre intérieur ne seront pas percées.

Marque de l'usine.

Art. 6. — Chaque pièce portera une marque en relief, en caractères de $0^m,01$ de hauteur au moins, indiquant en toutes lettres le nom de l'usine dans laquelle elle aura été fondue.

Cette marque sera placée sur le filet de l'emboîtement ou de la bride, ou à $0^m,20$ de l'extrémité si la pièce n'a ni emboîtement ni bride.

Évidement des emboîtements.

Art. 7. — A une distance d'un centimètre de leur origine, tous les emboîtements seront évidés suivant une surface annulaire de six millimètres de diamètre ($0^m,006$).

Coltarisation des fontes.

Art. 8. — Toutes les pièces de fonte, avant d'être livrées, seront enduites de coaltar, mais la coaltarisation ne sera faite qu'après l'examen et l'épreuve des pièces dont il sera parlé au chapitre suivant.

On ne recevra aucune pièce sur laquelle on apercevrait des vestiges de rouille.

. . . . . .

CHAPITRE III

Mode de réception. — Livraisons et délais.

Vérification, essais et réception à l'usine.

ART. 10. — L'adjudicataire sera soumis aux vérifications à l'usine que l'Administration jugera convenable d'ordonner pour s'assurer de la qualité de la fonte, comme il est dit à l'article 5 ci-dessus, et pour vérifier si toutes les précautions propres à garantir une bonne exécution sont prises, tant pour le parfait dressage des modèles que pour l'exact ajustement des châssis et pour les soins de moulage et de percement.

L'agent délégué par la Ville procédera, en outre, en présence de l'entrepreneur ou de son représentant, aux vérifications et épreuves suivantes :

Chaque pièce sera examinée tant à l'extérieur qu'à l'intérieur.

Ses dimensions seront mesurées, et on la frappera à petits coups de marteau pour s'assurer s'il n'y a ni chambres, ni soufflure.

On rebutera les tuyaux :

1° Dont on aurait caché les défauts avec du plomb, du mastic ou autrement ;

2° Dont l'épaisseur non uniforme dans le pourtour présenterait, entre son maximum et son minimum, une différence supérieure à la limite accordée ci-après ;

3° Dont l'emboîtement aurait un de ses diamètres intérieurs plus grand ou plus petit que le diamètre prescrit, d'une quantité dépassant la tolérance ;

4° Dont le bout mâle aurait un de ses diamètres extérieurs présentant un vice analogue.

On rebutera aussi les bagues qui auraient l'un des défauts signalés au paragraphe 3.

Les tolérances concédées pour les différences d'épaisseurs des tuyaux, les excédents des emboîtements et les moins-trouvés des bouts mâles seront de $0^m,003$ pour les tuyaux de $0^m,25$ de diamètre et au-dessous, et de 0,004 pour les autres.

Ces tolérances seront de moitié seulement pour les moins-trouvés des emboîtements et pour les excédents des bouts mâles.

Les tuyaux droits seront essayés à la presse hydraulique sous une pression de 15 atmosphères.

Lorsqu'il y aura suintement avec bouillonnement, et, à plus forte raison, si l'eau s'échappe par petits jets, le tuyau sera rebuté. Si la dixième partie d'une coulée ne résiste pas aux essais, tous les tuyaux compris dans cette coulée seront rebutés.

Toutes les pièces seront pesées : celles dont les poids ne seront pas in-

férieurs d'un vingtième aux poids normaux indiqués dans les tableaux dressés par l'Administration seront reçues si elles résistent aux épreuves ; il en sera de même de celles qui présenteraient des poids trop forts. Mais si le poids total des pièces fournies dans une année dépasse le total des poids réglementaires de ces pièces, l'excédent ne sera pas compté au fournisseur.

Il sera dressé, de chaque réception, un procès-verbal qui sera immédiatement soumis pour acceptation à la signature de l'entrepreneur ; chaque pièce figurera sur le procès-verbal avec son poids et son numéro d'ordre qui sera peint à l'huile sur le tuyau.

Une expédition de ce procès-verbal sera remise à l'entrepreneur et la minute restera entre les mains de l'Ingénieur pour servir à la rédaction du compte de l'entreprise.

Livraisons.

Art. 11. — Le fournisseur, après la réception des tuyaux devra les transporter de l'usine aux dépôts de la Ville ou à pied d'œuvre sur tous les chantiers établis par le service municipal, suivant les ordres qui lui auront été donnés. Ses charretiers devront toujours être munis de lettres de voiture qui porteront la désignation précise des diverses pièces composant le chargement, faute de quoi il pourrait être refusé.

. . . . . .

Celles qui ne seraient pas dans un état de propreté qui en permette l'examen seront rigoureusement refusées.

Les pièces refusées pour une cause quelconque devront être immédiatement enlevées par les soins et aux frais de l'entrepreneur.

Si, après l'arrivée des tuyaux, ou dans le cours de la pose, on signalait dans une pièce de fonte un défaut provenant soit du transport à la charge du fournisseur, soit de la fabrication, le fournisseur en restera responsable nonobstant la réception provisoire à l'usine. La pièce rebutée sera réintégrée au dépôt si elle en est sortie, le tout aux frais de l'entrepreneur qui devra l'enlever et la remplacer dans les délais qui lui seront prescrits.

Épreuves et réception au dépôt d'Austerlitz.

Art. 12. — L'Administration se réserve le droit de faire procéder, au dépôt du quai d'Austerlitz, aux épreuves, pesées et réceptions qui, d'après l'article 10, doivent être opérées à l'usine, sans que l'entrepreneur puisse élever aucune réclamation à ce sujet.

Dans les deux cas, il supportera tous les frais de pesée et d'essais ; seulement, pour les opérations faites au dépôt, il n'aura pas à fournir la presse hydraulique et l'eau, ni la bascule, qui seront mises à sa disposition par la Ville. Il pourra également, dans ce dernier cas, se servir, pour la coltarisation, des appareils installés au dépôt.

Délais des livraisons.

Art. 13. — L'entrepreneur aura un délai unique d'un mois après l'approbation de l'adjudication pour exécuter tous les modèles des pièces qu'il peut être appelé à fournir d'après le devis.

Ce temps passé, il lui sera accordé pour toutes ses fournitures un délai uniforme d'un mois à dater de chaque commande, pour mise en fabrication des pièces, épreuves et réceptions, transport au lieu indiqué.

En dehors de ce délai, il ne lui sera accordé que les délais de fabrication calculés sur les bases ci-après :

Un jour par 50 tuyaux droits de $0^m,15$ de diamètre et au-dessous ;
Un jour par 30 tuyaux droits de $0^m,20$ à $0^m,30$ de diamètre ;
Un jour par 20 tuyaux droits de $0^m,35$ à $0^m,40$ de diamètre ;
Un jour par 10 tuyaux droits de $0^m,50$ à $1^m,10$ de diamètre ;
Un jour par 5 trappes de regard.

Les livraisons seront faites sans discontinuité, de manière qu'il n'y ait jamais à l'usine plus du produit de la fabrication d'une semaine, éprouvé et reçu.

Ces livraisons seront composées de pièces de toute nature dans la proportion où elles figurent aux commandes, de manière que les tuyaux droits soient toujours précédés des consoles, bagues et pièces de raccord nécessaires à leur emploi. Aucun délai en sus de ceux qui ont été fixés pour la livraison des tuyaux droits n'est donc accordé pour les pièces accessoires, à moins que celles-ci (bagues et consoles non comprises) ne représentent en nombre plus de 10 0/0 des tuyaux droits de même diamètre. Dans ce dernier cas, les pièces en excédent sur la proportion indiquée compteraient dans le calcul du délai chacune pour un tuyau.

Lorsqu'une commande comprendra plus d'une bague ou de deux consoles par tuyau droit uni, les bagues ou consoles en excédent compteront dans les délais à raison de dix pour un tuyau.

Lorsqu'il résultera de l'accumulation des commandes successives que la production de l'usine devrait dépasser 20 tonnes par jour pour fabriquer, dans les délais sus-indiqués, les pièces demandées, le temps accordé à l'entrepreneur sera prolongé de ce qui sera nécessaire pour que la production quotidienne reste dans la limite de 20 tonnes.

L'entrepreneur, tout en observant les délais sus-indiqués, devra suivre, dans la fabrication des différentes natures de pièces, l'ordre de priorité qui lui sera fixé.

Il sera dressé des états des fournitures en retard qui serviront de base au calcul des retenues à opérer sur le décompte de l'entrepreneur, conformément à l'article 17 ci-après.

CHAPITRE IV

Prix des fournitures. — Conditions particulières et générales.

Prix de l'adjudication.

ART. 14. — Le prix des fontes sera réglé au kilogramme d'après l'offre indiquée sur la soumission qui sera agréée.

Ce prix comprend les frais de toute nature à faire jusqu'à livraison et réception complète.

. . . . . .

ART. 17. — Les retenues à exercer sur les fournitures en retard seront calculées, pour chaque semaine de retard, à raison de 1 0/0 sur la valeur des tuyaux droits et de 5 0/0 sur celle des pièces de raccord et trappes de regard. Retenues à exercer en cas de retard.

En cas d'urgence signalée antérieurement à l'entrepreneur, l'Administration pourra compléter les fournitures en retard aux frais de l'entrepreneur.

Lorsque l'entrepreneur ne se conformera pas aux délais indiqués dans les ordres de service pour l'enlèvement des vieilles fontes ou des fontes rebutées, il sera passible, pour chaque semaine de retard, d'une retenue calculée à raison de 2 0/0 de la valeur des fontes à enlever.

Les retenues seront notifiées à l'entrepreneur et portées à son décompte.

. . . . . .

Le présent devis dressé, etc.

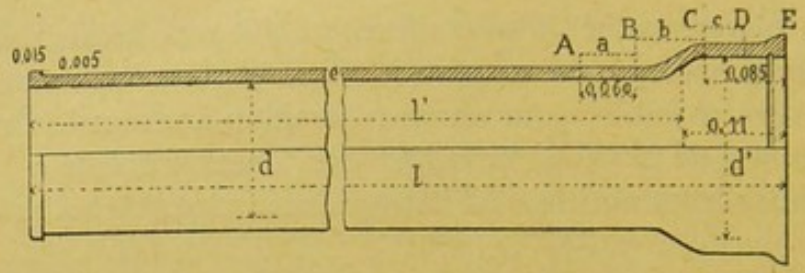
Paris, le 10 octobre 1885.

VI

EAUX DE PARIS

FORMES ET DIMENSIONS DES TUYAUX ET RACCORDS EMPLOYÉS DANS LA CANALISATION

TUYAUX A EMBOITEMENT ET CORDON



DIMENSIONS INVARIABLES

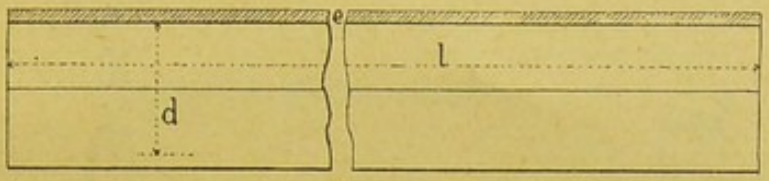
Longueurs { a ..... = 0.060 ; c ..... = 0.085

Cordon { largeur ..... = 0.015 ; surépaisseur. = 0.005

Surépaisseurs de l'emboitement { en A ..... = 0.000 ; en B ..... = 0.001 ; en C ..... = 0.003 ; en D ..... = 0.005 ; en E ..... = 0.014

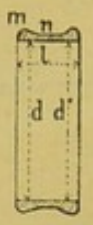
DIAMÈTRE intérieur du TUYAU (d)	LONGUEUR totale du TUYAU (l)	LONGUEUR utile du TUYAU (l')	ÉPAISSEUR du FUT (e)	DIAMÈTRE intérieur de L'EMBOÎTEMENT (d')	LONGUEUR de B C (b)	ÉPAISSEUR du JOINT	POIDS du TUYAU
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	kilogr.
0,06	2,61	2,50	0,009	0,096	0,067	0,009	39,5
0,10	3,11	3.00	0,010	0,138	0,070	»	81
0,15	»	»	0,0105	0,189	0,074	»	122,5
0,20	»	»	0,011	0,240	0,077	»	169
0,25	»	»	0,012	0,292	0,080	»	226
0,30	4,11	4,00	0,013	0,346	0,083	0,010	387
0,35	»	»	0,014	0,398	0,086	»	483,5
0,40	»	»	0,015	0,450	0,089	»	600
0,50	»	»	0,016	0,552	0,095	»	781
0,60	»	»	0,018	0,656	0,101	»	1.050
0,80	»	»	0,020	0,862	0,113	0,011	1.508
1,00	»	»	0,022	1,068	0,125	0,012	2.117,5
1,10	»	»	0,025	1,174	0,130	»	2.648

TUYAUX CYLINDRIQUES



DIAMÈTRE INTÉRIEUR DU TUYAU (d)	LONGUEUR TOTALE DU TUYAU (l)	ÉPAISSEUR DU TUYAU (e)	POIDS DU TUYAU
m.	m.	m.	kilogr.
0,06	2,50	0,009	35
0,10	3,10	0,009	69
0,15	»	0,010	112,5
0,20	»	0,010	147,5
0,25	»	0,011	201,5
0,30	4,10	0,012	347
0,35	»	0,013	437,5
0,40	»	0,014	537,5
0,50	»	0,015	716,5
0,60	»	0,017	973
0,80	»	0,019	1.443,5
1,00	»	0,021	1.975,5
1,10	»	0,024	2.500,5

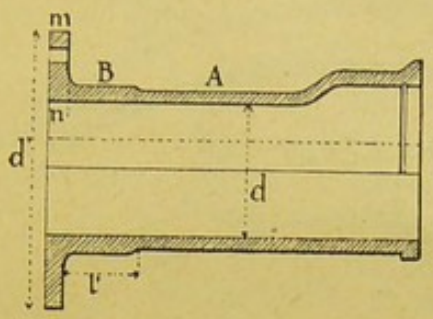
BAGUES DROITES



BAGUES BIAISES

DIAMÈTRE INTÉRIEUR DU TUYAU CORRESPONDANT	BAGUES DROITES							BAGUES BIAISES							
	LARGEUR DE LA BAGUE (l)	DIAMÈTRE MINIMUM de la bague (d)	ÉPAISSEUR en m	ÉPAISSEUR en n	CONICITÉ $\frac{d'-d}{2}$	ÉPAISSEUR DU JOINT	POIDS DE LA BAGUE	DIAMÈTRE MINIMUM de la bague (d')	LARGEUR maxima (l')	LARGEUR minima (l'')	ÉPAISSEUR en m'	ÉPAISSEUR en n'	RAYONS DE COURBURE à l'intérieur	ANGLE COMPRIS entre les deux faces	POIDS DE LA BAGUE
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	kgr.	m.	m.	m.	m.	m.	m.		kgr.
0,06	0,08	0,090	0,018	0,011	0,002	0,006	2,7								
0,10	»	0,131	0,020	0,012	»	0,00625	4,2								
0,15	0,09	0,182	0,022	0,013	»	»	7								
0,20	0,10	0,233	0,024	0,014	»	»	10,7								
0,25	»	0,285	0,025	0,015	0,0025	»	13,5	0,294	0,150	0,100	0,035	0,020	0,745	9°,43'	23,5
0,30	»	0,338	0,026	0,016	»	0,00675	17	0,347	»	»	»	»	0,868	8°,16'	27
0,35	»	0,390	0,028	0,018	»	»	21,5	0,399	»	»	0,037	0,022	0,998	7°,21'	32
0,40	»	0,441	0,030	0,020	0,003	0,007	26	0,450	»	»	0,040	0,025	1,125	6°,22'	42
0,50	»	0,544	0,032	0,022	»	»	34,5	0,544	»	»	0,045	»	1,385	5°,10'	58,5
0,60	»	0,648	0,034	0,024	»	»	39,5	0,658	»	»	0,048	0,028	1,645	4°,23'	75
0,80	0,12	0,854	0,042	0,027	»	0,008	84	0,864	0,180	0,120	0,050	0,030	2,160	4°.7'	107
1,00	0,15	1,060	0,045	0,030	»	0,009	137,5	1,070	0,220	0,150	0,055	0,035	2,565	4°	194,5
1,10	»	1,166	0,050	0,035	»	»	172	1,177	»	»	»	»	3,108	3°,25'	213,5

BOUTS D'EXTRÉMITÉ



à bride et emboîtement.

à bride et cordon.

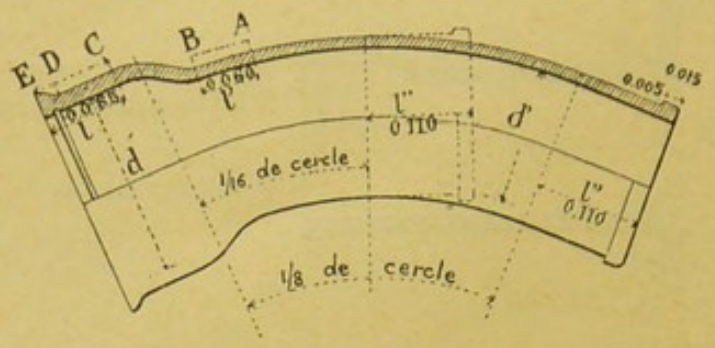
DIMENSIONS INVARIABLES

Longueur totale des bouts d'extrémité. 0m,40
Longueur l'..... 0m,08
Surépaisseur du tuyau en B..... 0m,005

NOTA. — Le cordon et l'emboîtement sont les mêmes que ceux des tuyaux droits du même diamètre.

DIAMÈTRE intérieur des BOUTS d'extrémité (d)	ÉPAISSEUR du TUYAU en A	DIAMÈTRE extérieur de LA BRIDE (d')	ÉPAISSEUR DE LA BRIDE		POIDS DES BOUTS D'EXTRÉMITÉ		
			en n	en m	à BRIDE et cordon	à BRIDE et emboîtement	à deux BRIDES
m.	m.	m.	m.	m.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
0,06	0,009	0,210	0,020	0,017	10	12,5	14
0,10	0,010	0,250	0,022	0,019	17	20	23,5
0,15	0,0105	0,306	0,023	0,020	25	28,5	34
0,20	0,011	0,358	0,024	0,021	33,5	38,5	45
0,25	0,012	0,411	0,025	0,022	44	50	58,5
0,30	0,013	0,474	0,026	0,023	56,5	64	75,5
0,35	0,014	0,528	0,027	0,024	70	78	92
0,40	0,015	0,582	0,028	0,025	84	93	110
0,50	0,016	0,682	0,030	0,027	110	121,5	143
0,60	0,018	0,786	0,033	0,030	145,5	159,5	188
0,80	0,020	0,990	0,038	0,036	211,5	232	275,5
1,00	0,022	1,212	0,044	0,042	306,5	330	406,5
1,10	0,025	1,318	0,046	0,044	372,5	399	486,5

TUYAUX COURBES 1/8 ET 1/16 DE CERCLE
à emboîtement et cordon

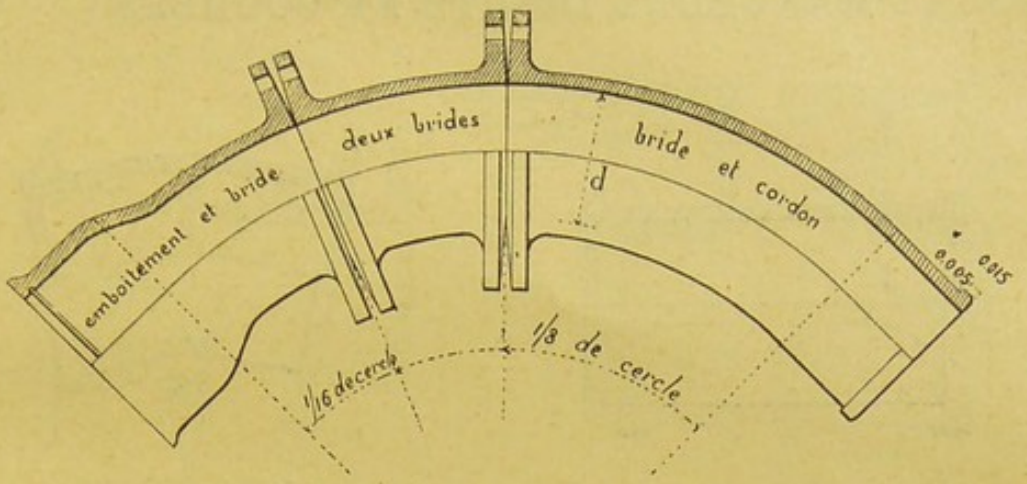


DIMENSIONS INVARIABLES

Cordon	largeur	0m,015	
	surépaisseur	0m,005	
Longueur de l		0m,085	
— de l'		0m,060	
— de l''		0m,110	
Surépaisseur de l'emboîtement	en A	0m,000	
	en B	0m,001	
	en C	0m,003	
	en D	0m,005	
	en E	0m,014	

DIAMÈTRE intérieur du TUYAU (d')	RAYON de COURBURE R	ÉPAISSEUR (e)	DIAMÈTRE intérieur de L'EMBOÎTEMENT (d)	LONGUEUR de B C	ÉPAISSEUR DU JOINT avec les tuyaux courbes	ÉPAISSEUR DU JOINT avec le cordon des tuyaux droits	ÉPAISSEUR DU JOINT avec l'emboîtement des tuyaux droits	POIDS DES TUYAUX COURBES 1/8e de cercle	POIDS DES TUYAUX COURBES 1/16e de cercle
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	kilogr.	kilogr.
0,06	0,50	0,011	0,100	0,067	0,009	0,011	0,007	14	11,5
0,10	»	0,012	0,142	0,070	»	»	»	23	17
0,15	»	0,0125	0,193	0,074	»	»	»	33,5	24,5
0,20	»	0,013	0,244	0,077	»	»	»	44,5	32,5
0,25	0,50	0,014	0,296	0,080	»	»	»	58,5	42
	1,50							134	75
0,30	0,50	0,015	0,352	0,083	0,010	0,013	»	74,5	53,5
	1,50							165,5	95,5
0,35	1,50	0,016	0,404	0,086	»	»	»	195,5	117,5
0,40	»	0,017	0,455	0,089	»	»	»	237,5	145
0,50	»	0,019	0,558	0,095	»	»	»	333	201,5
0,60	»	0,021	0,662	0,101	»	»	»	429,5	255,5
0,80	»	0,024	0,868	0,113	»	0,014	»	648	384,5
1,00	2,00	0,027	1,074	0,125	»	0,015	»	1.113,5	641
1,10	»	0,030	1,180	0,130	»	»	»	1.412	802,5

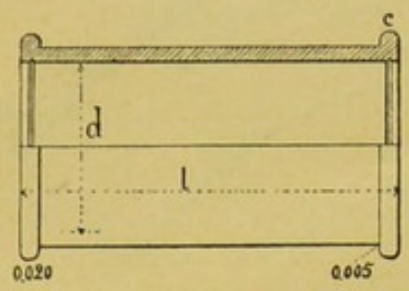
TUYAUX COURBES 1/8 ET 1/16
à deux brides, à bride et emboîtement, à bride et cordon



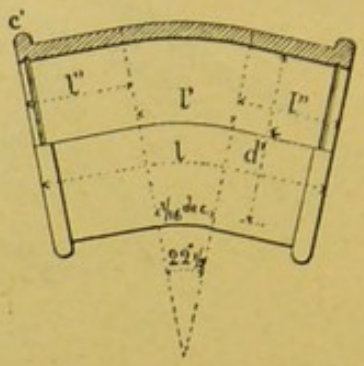
NOTA. — 1° Le rayon de courbure est le même que celui des tuyaux courbes à cordon et emboîtement du même diamètre ;
2° L'épaisseur du tuyau est également la même ;
3° Le cordon et l'emboîtement sont semblables à ceux des tuyaux courbes à emboîtement et cordon
4° La bride est identique à celle des bouts d'extrémité du même diamètre.

DIAMETRE intérieur du TUYAU (d)	POIDS DES TUYAUX COURBES 1/8e DE CERCLE			POIDS DES TUYAUX COURBES 1/16e DE CERCLE		
	à deux brides	à bride et cordon	à bride et emboîtement	à deux brides	à bride et cordon	à bride et emboîtement
m.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
0,06	14	12,5	15,5	10,5	9	12
0,10	23	21	24,5	17	15	18,5
0,15	33,5	31	36,5	24	22	26,5
0,20	44	41,5	47	31,5	29,5	34,5
0,25	57	56,5	61	40,5	38	44,5
	122	120	126,5	73,5	71	77,5
0,30	74	70	78	52,5	49	57
	157,5	154	157,5	95,5	92	95,5
0,35	194	190	199	116	112	121
0,40	233,5	229,5	241,5	139	135	147
0,50	318,5	316	335,»	187,5	185	204
0,60	419,5	417	432,5	246	243,5	258,5
0,80	635	631,5	651	372	368,5	388
1,00	1.122	1.103	1.201	648,5	629	661
1,10	1.401,5	1.389	1.502	799,5	787	816

MANCHONS DROITS ET COURBES



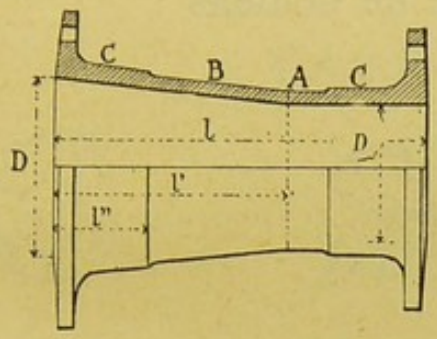
Longueur invariable ; l.. 0m,40



Longueur invariable : l''.. 0m,110

DIAMÈTRE INTÉRIEUR DES TUYAUX	MANCHONS DROITS					MANCHONS COURBES 1/16e DE CERCLE							
	DIAMÈTRE INTÉRIEUR (d)	ÉPAISSEUR (e)	LARGEUR DU BOUDIN OU CORDON (c)	ÉPAISSEUR DU JOINT	POIDS DU MANCHON	DIAMÈTRE INTÉRIEUR (d')	ÉPAISSEUR (e')	LARGEUR DU BOUDIN OU CORDON (c')	LONGUEUR DE L'ARC (l')	LONGUEUR TOTALE du manchon sur l'axe (l)	ÉPAISSEUR DU JOINT	RAYON DE COURBURE R	POIDS DU MANCHON
m.	m.	m.	m.	m.	kgr.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	kgr.
0,06	0,100	0,013	0,020	0,011	14,2	0,100	0,013	0,020	0,096	0,318	0,011	0,250	11,5
0,10	0,142	0,014	»	»	21	0,142	0,014	»	»	»	»	»	17
0,15	0,193	0,015	»	»	30	0,193	0,015	»	»	»	»	»	24
0,20	0,244	0,016	»	»	39,5	0,244	0,016	»	»	»	»	»	32
0,25	0,296	0,017	»	»	50,5	0,296	0,017	»	»	»	»	»	40,5
0,30	0,350	0,018	»	0,012	62,5	0,352	0,018	»	0,100	0,320	0,013	»	50,5
0,35	0,402	0,019	0,025	»	77,5	0,404	0,019	0,025	0,110	0,330	»	0,300	64,5
0,40	0,453	0,020	»	»	91	0,455	0,020	»	0,120	0,340	»	»	78
0,50	0,556	0,021	0,027	»	117,5	0,558	0,021	0,027	0,141	0,361	»	0,350	106,5
0,60	0,660	0,022	0,030	»	147	0,662	0,022	0,03	0,161	0,381	»	0,450	141
0,80	0,864	0,024	»	»	207,5	0,870	0,024	»	0,201	0,421	0,015	0,500	217
1,00	1,068	0,027	0,035	»	292	1,078	0,027	0,035	0,240	0,460	0,017	0,600	332
1,10	1,174	0,030	0,040	»	362,5	1,184	0,030	0,040	0,260	0,480	»	0,650	427,5

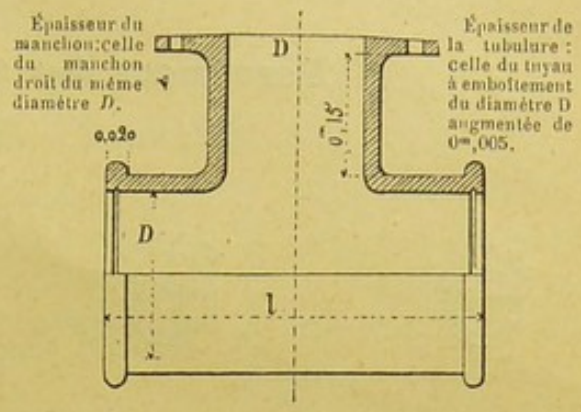
TUYAUX CONIQUES à 2 brides



DIMENSIONS INVARIABLES

Longueur totale	l.....	0m,400
	l'.....	0m,250
	l''.....	0m,080
Surépaisseur en	C.....	0m,005

MANCHONS A TUBULURE



Pour D = 0m,10	Longueur totale	= 0m,40
D = 0m,15 à 0m,40.	—	D + 0m,25
D = 0m,50 à 0m,80.	—	D + 0m,35
D = 1m,00 à 1m,10.	—	D + 0m,45

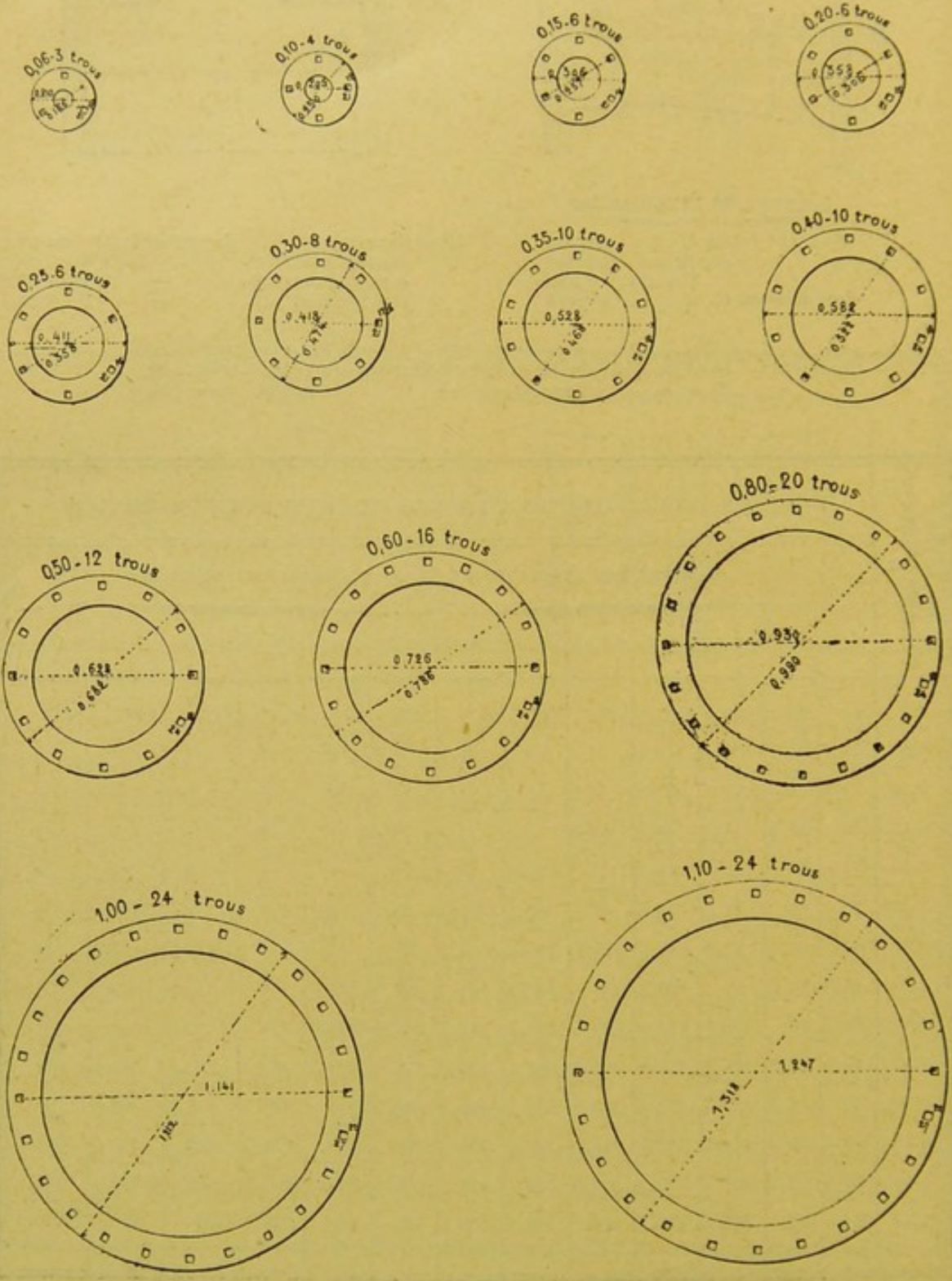
NOTA. — Épaisseurs : 1° en A, celle du tuyau à emboîtement du petit diamètre *D* ;
2° en B, — — du grand — D.

POIDS DES TUYAUX CONIQUES A 2 BRIDES ET DES MANCHONS A TUBULURES

DIAMÈTRE INTÉRIEUR DES TUYAUX D	DIAMÈTRE DES TUBULURES OU GRAND DIAMÈTRE DES CÔNES D												
	0m,06	0m,10	0m,15	0m,20	0m,25	0m,30	0m,35	0m,40	0m,50	0m,60	0m,80	1m,00	1m,10
m.	k	kgr.	kgr.	kgr.	kgr.	kgr.	kgr.	kgr.	kgr.	kgr.	kgr.	kgr.	kgr.
0,06	21	18	22,5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,10	27,5	32	28	32,5	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,15	36	40,5	46,5	38,5	44,5	»	»	»	»	»	»	»	»
0,20	45,5	49,5	55,5	64,5	51	58,5	»	»	»	»	»	»	»
0,25	56	61	66	75,5	87	66	73,5	»	»	»	»	»	»
0,30	68	72,5	77,5	89	101,5	116,5	83	91	»	»	»	»	»
0,35	84,5	88,5	94	106	121	136,5	149	100	114,5	»	»	»	»
0,40	94	98	103,5	116,5	133	150,5	168,5	186,5	124,5	145	»	»	»
0,50	118,5	122,5	126,5	144,5	162,5	183	202	225,5	290,5	163,5	204,5	»	»
0,60	145	148,5	153,5	173,5	192,5	218	240,5	263,5	343	387	229	288,5	»
0,80	202,5	206,5	211,5	237,5	266,5	296	324	353	459	516,5	662	337	376
1,00	298,5	302,5	307	342,5	379,5	418	458	500,5	633,5	710,5	871	1.157,5	445,5
1,10	369	373	377,5	420,5	465	506,5	553,5	598	766	856,5	1.038	1.318,5	1.440,5

BRIDES

Percement des trous de boulons



VII

EAUX DE PARIS

ADJUDICATION

EN TROIS LOTS

DE L'ENTRETIEN DE LA FONTAINERIE

DU 1er JUIN 1883 au 31 DÉCEMBRE 1888.

DEVIS

CHAPITRE PREMIER

Objet, durée et montant de l'entreprise.

ARTICLE PREMIER

Objet de l'entreprise.

L'entreprise a pour objet :

1° L'entretien, sous le rapport spécial de la fontainerie, des conduites et appareils de distribution des eaux, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la Ville de Paris, y compris les dérivations ;

2° L'exécution des travaux neufs dont la dépense n'excédera pas 20.000 francs.

. . . . . .

Les travaux de la première catégorie seront exécutés à forfait, moyennant des prix appliqués à tous les ouvrages de la distribution suivant leur nombre ou leur quantité.

Ceux de la seconde catégorie seront exécutés dans les conditions ordinaires des travaux des ponts et chaussées, et payés aux prix du bordereau joint au présent devis.

. . . . . .

ARTICLE 5.

Réserves.

L'Administration se réserve la faculté de faire expérimenter, soit par les inventeurs eux-mêmes, soit par des entrepreneurs de son choix, tout système nouveau de tuyaux, robinets ou autres appareils de distribution, de l'établissement et de l'entretien desquels l'entrepreneur pourra ensuite être chargé à des prix débattus, après reconnaissance des avantages et du bon usage de l'emploi de ces nouveaux systèmes.

. . . . . .

CHAPITRE II

Conditions relatives à l'exécution du forfait.

ARTICLE 7.

Définition des travaux qui composent le forfait.

Les travaux relatifs à l'exécution de cette partie de l'entreprise comprennent :

1° L'entretien des conduites de toute nature et de leurs accessoires immédiats, tels que soupapes de prises d'eau, ventouses, clapets, robinets ordinaires, d'arrêt et de décharge, robinets-vannes et autres pièces, etc., etc. ;

2° L'entretien et le nettoiement des ouvrages relatifs à la distribution directe des eaux, tels que bornes-fontaines ordinaires et à repoussoir, fontaines Wallace, bouches d'eau sous trottoir, poteaux et boîtes d'arrosement, réservoirs métalliques, cuvettes, bondes et soupapes des réservoirs en maçonnerie, mécanismes, grilles et cuvettes en fonte ou en poterie à la suite jusqu'à l'égout et autres appareils hydrauliques des fontaines monumentales, des fontaines de puisage à la sangle, des bornes-fontaines à repoussoir et des fontaines Wallace, les fourreaux en fonte ou en poterie des branchements de ces divers appareils ;

3° Le maintien au niveau du sol et à l'alignement des bordures du trottoir, même après un remaniement de chaussée ou de trottoir, quelle qu'en soit l'étendue, pour rétablir le profil primitif de tous les appareils hydrauliques ;

4° Les manœuvres sur les conduites, robinets et autres mains-d'œuvre indiquées dans les articles ci-après ;

5° La réparation des maçonneries d'égouts, regards et massifs des appareils hydrauliques, dégradés par les fuites ou leurs conséquences.

Le tout ainsi qu'il est expliqué plus en détail dans les articles 11, 12, etc., jusqu'à 18 inclusivement.

ARTICLE 8.

Restrictions aux stipulations générales.

Sont exceptés du forfait :

. . . . . .

7° Le renouvellement des pièces volées, si le vol a été dûment constaté par traces d'effraction ou autres, à moins qu'il ne soit le fait des ouvriers de l'entrepreneur, ou le résultat de la négligence de ses agents ;

8° Le renouvellement des pièces disparues ou brisées pendant un incendie ;

Et généralement toute construction ou tout travail qui aurait pour but d'apporter un changement dans la disposition actuelle des établissements hydrauliques ou des distributions d'eau, et non pour objet d'amener la réparation ou le renouvellement des pièces avariées.

. . . . . .

ARTICLE 11.

Réparations des conduites.

L'entrepreneur devra se conformer, pour les diverses opérations à effectuer, aux dispositions qui lui seront indiquées, et les exécuter suivant les prescriptions du chapitre III ci-après, relatif aux travaux neufs.

Conduites en plomb. — La réparation des conduites en plomb comprend la fourniture des bouts de tuyaux neufs de même métal qu'il pourrait être nécessaire de substituer à des portions de vieux tuyaux, ainsi que tous les frais relatifs à la pose de ces bouts ayant les poids et dimensions réglementaires.

Conduites en fonte. — La réparation des conduites en fonte comprend la fourniture des tuyaux, manchons, bagues, brides, colliers, boulons, vis de serrage, rondelles en plomb et en cuir, plaques pleines en tôle, cordes goudronnées, glaises, et généralement tous les matériaux et toutes les mains-d'œuvre nécessaires pour raccorder les tuyaux d'une manière solide et durable.

Conduites en tôle et bitume. — Lorsqu'une fuite se manifestera sur

une conduite en tôle et bitume, le bitume sera d'abord enlevé sur peu d'étendue avec un fer chaud. Si la fuite est peu large, on se contentera de gratter et de décaper la tôle, et d'y rapporter un grain de soudure. Si la fuite est large, on couvrira la déchirure par une plaque de plomb, après avoir étamé la tôle sur les bords, et on la soudera.

Le bitume sera remis en le liquéfiant et en l'employant comme la soudure dans la confection des nœuds, en se servant d'un chiffon mouillé au lieu d'un chiffon gras.

Si un tuyau de tôle et bitume est à remplacer, on enlèvera le bitume, on coupera le tuyau transversalement, à la scie, à deux endroits distants d'environ $0^{m},20$; on démontera les deux côtés et on rapportera sur chaque bout soit une bride, soit une frette, qui permettra de poser un tuyau à double bride ou un manchon en fonte avec joints coulés.

Si le vieux tuyau ne pouvait se démonter, on le couperait à la scie, on fretterait les deux bouts, et on remplacerait la partie enlevée par un tuyau en fonte relié au reste de la conduite par deux manchons.

. . . . . .

ARTICLE 16.

Recherches de fuites et engorgements.

Indépendamment de toutes les fuites apparentes, qui devront être réparées avec solidité, l'entrepreneur est tenu de faire à ses frais toutes les recherches et expériences nécessaires pour découvrir les pertes d'eau cachées ou les engorgements de toutes natures des conduites publiques et appareils qui en dépendent, de pourvoir à la réparation des unes et à la suppression des autres, en sorte que le service ne souffre en aucun temps de ces inconvénients.

L'entrepreneur ne sera admis à aucune réclamation au sujet des engorgements, quelle qu'en soit la cause. . . . . .

. . . . . .

ARTICLE 17.

Manœuvres périodiques pour la conservation des conduites et appareils.

Les manœuvres à blanc des robinets-vannes, celles des robinets coniques en cuivre et des soupapes, seront faites une fois par mois, aux époques et dans les délais qui seront fixés..... Toutes les manœuvres seront exécutées sous la surveillance des piqueurs ou conducteurs. Tous les frais qui se rattachent à ce travail seront à la charge de l'entrepreneur.

Chaque équipe employée auxdites manœuvres devra comprendre, entre autres ouvriers, un ajusteur exercé à ce genre d'opérations.

. . . . . .

CHAPITRE III

Conditions relatives à l'exécution des travaux neufs.

ARTICLE 19.

Ouverture des tranchées.

Les travaux neufs consistent généralement en pose ou renouvellement de conduites, soit sous galerie, soit en terre. Dans le premier cas, le service des ateliers se fera, autant que possible, par les trappes de regard, que l'entrepreneur devra faire entourer et garder avec soin. Il devra, au besoin, percer à ses frais les voûtes des égouts ou galeries, sauf à les refermer à la fin du travail et à faire tous les raccordements nécessaires, etc., etc. Dans le second cas, l'entrepreneur procédera d'abord à l'ouverture de la tranchée, suivant le tracé et la profondeur donnés par l'ingénieur, et en ayant soin de ranger les terres et les matériaux qu'il sera tenu de remettre en place en se conformant aux conditions détaillées à l'article 16 ci-dessus. S'il est reconnu que les déblais ne peuvent pas, sans inconvénient, rester sur le chantier, l'entrepreneur sera tenu de les transporter dans tel endroit qui lui conviendra, pour les reprendre ensuite et les réemployer, le tout à ses frais.

Dans tous les cas, il sera tenu de prendre les précautions nécessaires pour préserver les ouvrages dépendant du service municipal, tels que candélabres, bancs, arbres, etc., et sera responsable des dégradations.

ARTICLE 20.

Pose des tuyaux.

Les tuyaux seront descendus avec soin dans les galeries ou dans les tranchées où ils devront être placés. Ils seront assemblés soit par des joints à emboîtements, soit par des joints à brides, soit par des joints à bagues, s'il s'agit de tuyaux en fonte, ou simplement assemblés à joints à emboîtement précis, s'il s'agit de tuyaux en tôle et bitume, en ayant soin d'opérer la pose de telle sorte que le mamelon pratiqué sur chaque tuyau soit en dessus.

Au moment de leur mise en place, les tuyaux devront être très soigneusement visités à l'intérieur et débarrassés de tous les corps étrangers qui pourraient y avoir été accidentellement introduits.

Joints à emboîtements. — La pénétration de deux tuyaux consécutifs sera moindre que la profondeur de l'emboîtement, de manière à laisser 1 centimètre de jeu pour la dilatation. On aura soin de placer en dessus la portion de l'emboîtement qui portera le mamelon. Le bout mâle de chaque tuyau sera engagé dans le renflement du tuyau suivant, de ma-

nière à rendre régulier l'intervalle compris entre les parois intérieures de l'un et les parois extérieures de l'autre. Cet intervalle sera rempli, partie avec de la corde neuve imprégnée de goudron de résine, partie avec du plomb fondu. La profondeur du joint en plomb sera de $0^m,04$. — La corde, roulée régulièrement autour du bout mâle, sera matée au refus et disposée de manière à laisser un vide de profondeur uniforme pour recevoir le plomb, lequel sera lui-même maté après le refroidissement, de telle sorte que les joints soient parfaitement étanches.

Joints à brides. — Dans la confection de ces joints, on laissera entre les brides un intervalle suffisant pour recevoir une rondelle en plomb convenablement dressée et enduite, sur les deux faces, d'une couche de mastic ou de minium. Les rondelles auront la forme d'un anneau plat dont le diamètre intérieur sera égal à celui des tuyaux à raccorder, et dont le diamètre extérieur sera calculé de manière à affleurer les trous des boulons. Ces rondelles auront, en général, $0^m,012$ d'épaisseur uniforme. Lorsqu'elles devront être biaises, leur épaisseur sera variable et déterminée par l'obliquité à donner aux tuyaux ; toutefois, elles ne devront pas avoir, au point le plus mince, moins de $0^m,01$ d'épaisseur.

Les boulons destinés à relier les brides des tuyaux auront $0^m,018$ de diamètre, ils seront faits et filetés avec le plus grand soin. Ces boulons seront serrés graduellement les uns après les autres jusqu'au refus, et la rondelle sera refoulée avec un ciseau à mater, afin de rendre le joint parfaitement étanche.

Joints à bagues. — On conservera entre les deux bouts de tuyau, pour les mouvements de dilatation, un intervalle de 2 millimètres, en se servant, à cet effet, d'une plaque en tôle ; on masquera le vide avec de la terre glaise, pour empêcher la pénétration du plomb ; le joint devra partager la bague exactement par le milieu.

Le vide entre la bague et le tuyau sera entièrement rempli au plomb fondu, lequel sera maté au refus, après le refroidissement, de telle sorte que le joint soit parfaitement étanche.

Joints de divers systèmes. — L'entrepreneur devra, s'il est fait emploi de joints de forme particulière ou d'un système nouveau, se conformer aux instructions qui lui seront données. Les tubulures d'attente et les extrémités des conduites seront tamponnées par des plaques pleines en tôle d'épaisseur convenable.

. . . . . .

ARTICLE 21.

Mesurage au mètre courant.

La pose, soit en tranchée, soit sous galerie, sera payée au mètre courant pour les conduites de toute nature, quelle que soit d'ailleurs la sujétion dans les parties courbes, etc.

Les plaques neuves d'extrémité et des tubulures d'attente seront seules payées à part. En conséquence, on mesurera les longueurs totales des conduites posées, on comptera le nombre de pièces spéciales, et on appliquera à ces longueurs et à ces nombres les prix portés au bordereau.

Le prix porté au bordereau pour le mètre courant de conduite posée sous galerie comporte toutes les sujétions pouvant résulter de la pose des tuyaux sur consoles, fers à ſ de toutes dimensions ou autres supports ; des difficultés d'accès ou de transport souterrain ; celui porté pour le mètre courant de conduite posée en terre comprend les étaiements toutes les fois qu'ils sont reconnus nécessaires, le déblai de la tranchée calculé sur une profondeur moyenne de $1^{m},20$ mesurée du dessus du tuyau, quel qu'en soit le diamètre; les plus ou moins-values correspondant aux profondeurs plus grandes ou plus petites seront payées aux prix portés aux nos 587 et suivants du bordereau.

En conséquence, on mesurera en cours d'exécution la profondeur de la fouille partout où il y aura changement d'inclinaison soit dans le profil longitudinal de la conduite, soit dans celui du sol sous lequel elle sera placée, et alors la profondeur moyenne d'une conduite sera représentée par la surface du profil, entre le dessus du tuyau et le sol, divisée par la longueur . . . . . .

. . . . . .

ARTICLE 22.

Épreuves des conduites.

Avant de recouvrir de terre chacune des portions de conduites nouvellement posées, on y mettra l'eau et on leur fera éprouver, à l'aide d'une pompe de presse hydraulique, une pression équivalant à *huit* atmosphères ; cette opération, y compris les travaux préparatoires nécessaires, tels que pose de plaques pleines, butées, etc., sera faite au compte de l'entrepreneur.

L'entrepreneur devra exécuter immédiatement et à ses frais les travaux de réparation, quels qu'ils soient, que cette épreuve aura fait reconnaître nécessaires.

Il sera ensuite procédé, dans les mêmes conditions, à une nouvelle épreuve, toujours équivalant à la même charge.

ARTICLE 23.

Déplacement des conduites.

Pour déplacer les conduites devenues inutiles, l'entrepreneur ouvrira une tranchée aussi étroite que faire se pourra, en ayant soin de ranger les pavés au bord de la tranchée, avec les précautions convenables. Il

déboîtera ensuite les tuyaux, de manière à éviter toute rupture ; toutes les pièces seront séparées, déboulonnées s'il y a lieu, et parfaitement nettoyées intérieurement et extérieurement, puis enlevées et transportées dans les magasins de la Ville ;

. . . . . .

La dépose des conduites sera, comme la pose, comptée au mètre linéaire, d'après leur diamètre, et sans aucune plus-value pour les pièces accessoires à détacher, mais en tenant compte de la profondeur de la fouille . . . . . .

Tous les tuyaux et appareils de fontainerie, colliers, brides de tamponnage, etc., resteront à la Ville. Le plomb seul sera repris par l'entrepreneur . . . . . .

L'entrepreneur remplacera à ses frais les tuyaux et pièces de fontainerie qu'il aura brisés ou dégradés ou qui auraient disparu.

. . . . . .

ARTICLE 24.

Prises d'eau, poses de plaques pleines, etc.

. . . . . .

Les percements sur conduites de fonte seront faits suivant le calibre voulu, avec la machine à percer, de telle sorte que les bords soient francs et nets de toute bavure. Ceux sur conduite de tôle et bitume devront toujours être faits au trépan, et le bitume devra toujours être rétabli sur la soudure du tuyau de prise.

Les prises d'eau seront faites sur conduites en charge sans augmentation de prix.

ARTICLE 25.

Travaux divers.

. . . . . .

L'entrepreneur renonce expressément, et pour un avenir indéfini, à se prévaloir contre la Ville de Paris des brevets d'invention qu'il a pris ou pourrait prendre jusqu'à la fin de son bail, pour réclamer aucun droit à intervenir, quand ce bail sera fini, dans l'entretien d'aucun appareil de fontainerie affecté à la distribution d'eau dans l'étendue des voies publiques . . . . . .

CHAPITRE IV

Conditions particulières et générales.

ARTICLE 26.

Essais des tuyaux dans les dépôts et responsabilité de l'entrepreneur en ce qui concerne les casses et avaries.

L'entrepreneur pourra être chargé de l'essai des tuyaux soit en fonte, soit en tôle et bitume, et des robinets qui seront employés dans les prolongements ou renouvellements des conduites. Ces tuyaux et robinets seront soumis, dans les dépôts du service, à l'aide d'une pompe de presse hydraulique, à une pression équivalant au poids d'une colonne d'eau de 100 mètres de hauteur.

. . . . . .

L'entrepreneur est responsable de toutes les avaries qui surviendront aux robinets-vannes, aux tuyaux ou autres appareils, à partir du moment où ils lui auront été livrés. L'Administration retiendrait, en conséquence, sur les sommes à lui dues, la valeur totale de toutes pièces brisées ou détériorées. . . . . .

ARTICLE 27.

Responsabilité de l'entrepreneur vis-à-vis de la police, etc.

L'entrepreneur se pourvoira, à ses frais, des emplacements nécessaires pour le dépôt des matériaux et fontes nécessaires aux travaux d'entretien à forfait, lesquels dépôts seront au nombre de deux dans chaque lot . . . . . .

En outre, il lui est formellement imposé d'avoir son atelier ou le siège de sa maison dans le périmètre du lot dont il est adjudicataire, et autant que possible vers le centre.

. . . . . .

Dans l'exécution des travaux neufs ou d'entretien qui lui seront confiés, l'entrepreneur devra prendre toutes les dispositions nécessaires pour assurer l'accès des propriétés particulières et la circulation au droit des rues transversales pendant l'ouverture des tranchées, établir des passerelles provisoires, ponts de piétons, barrières, etc., tous travaux qui demeureront entièrement à sa charge.

Il devra, en outre, satisfaire à toutes les charges et prescriptions de police . . . . . .

. . . . . .

En ce qui touche les lignes télégraphiques et téléphoniques placées dans les égouts, l'entrepreneur devra toujours faire l'emploi d'un écran spécial destiné à protéger les câbles électriques en égout contre les détériorations provenant des travaux de fontainerie.

. . . . . .

En cas d'émanations de gaz dans les égouts où il exécuterait des travaux neufs ou des réparations, l'entrepreneur devra immédiatement faire éteindre les lampes à flamme découverte, et les faire retirer, en employant des lampes Davy, dont chaque chef d'atelier sera toujours pourvu.

. . . . . .

ARTICLE 30.

Composition des soudures.

Les soudures pour nœuds, embranchements, empattements, etc., seront composées d'un tiers de bon étain et de deux tiers de plomb.

ARTICLE 31.

Composition des alliages de cuivre.

L'alliage de cuivre, qui sera exclusivement employé pour la robinetterie et pour toutes les pièces accessoires de la distribution, sera celui qui est connu dans le commerce et dans les arts sous le nom de bronze.

Le bronze sera généralement composé de :

1° Pour les vis de robinets-vannes, clefs de robinets ordinaires, etc., de :

90	parties	de cuivre	en poids.
10	—	d'étain	—
2	—	de zinc	—

2° Pour les écrous, boisseaux de robinets, etc., de :

86	parties	de cuivre	en poids.
14	—	d'étain	—
3	—	de zinc	—

. . . . . .

ARTICLE 32.

. . . . . .

En cas de fraude constatée dans la composition des soudures et alliages, l'entrepreneur sera passible d'une amende de 500 francs.

Pour faciliter la constatation du poids des robinets et autres pièces de fontainerie en bronze, l'entrepreneur fera marquer au poinçon, sur chaque pièce et en caractères parfaitement lisibles, son poids en kilogrammes et en décagrammes. Toute fausse indication sera assimilée à une fraude dans la composition des alliages et donnera lieu à l'application de l'amende stipulée ci-dessus au présent article.

. . . . . .

ARTICLE 41.

Délais d'exécution.

. . . . . .

En ce qui concerne les travaux de pose de conduites et autres, l'entrepreneur sera tenu de les commencer dans un délai de 3 jours, à partir de celui où l'ordre de service lui aura été donné, et de les continuer sans interruption, de manière à poser par jour, soit en terre, soit en galerie :

40	mètres	de conduites	de 0,100	à 0,200	de diamètre.
30	—		0,200	0,350	—
20	—		0,400	0,600	—
15	—		0,800	1,100	—

. . . . . .

Le présent devis dressé . . . . . .

Paris, le 16 mars 1883.

BORDEREAU DES PRIX

CHAPITRE PREMIER

FORFAIT

Prix alloués à forfait pour entretien annuel des appareils dénommés ci-après :

	fr. c.
Un mètre linéaire de conduite, quel que soit le diamètre.....	» 08
Une borne-fontaine (grand ou petit modèle), une bouche d'eau sous trottoir, une boîte ou un poteau d'arrosement, bouche d'arrosage à la lance et fontaine Wallace, appliquée ou isolée (non compris le branchement payé à part).....	10 »
Une borne-fontaine à repoussoir avec robinet ordinaire, non compris le branchement.....	50 »
Une borne-fontaine à repoussoir avec robinet Chameroy, non compris le branchement.....	25 »
Un coffre d'incendie.....	3 »
Une bouche d'incendie de $0^m,10$ pour pompe à vapeur, en regard ou sous trottoir (non compris le branchement).....	10 »
Un urinoir à rosace ou à cuvette de déversement longitudinal à une seule case (non compris le branchement).....	4 »
Une case supplémentaire d'urinoir à cuvette de déversement.....	» 50
Une bouche de puisage pour les marchés forains, y compris grilles et cuvettes (non compris le branchement).....	15 »
Un bureau de stationnement (robinet de puisage sans le branchement).	30 »
Une fontaine monumentale.....	100 »
Une fontaine de puisage à la sangle avec robinet Chameroy.....	35 »
Une fontaine de puisage à la sangle avec repoussoir ordinaire.....	60 »
Un branchement pour service public, y compris le robinet de prise sur la conduite et le robinet d'arrêt ou de jauge au pied de l'appareil.....	1 25

CHAPITRE II

. . . . . .

4e Section. — *Travaux de main-d'œuvre et ouvrages compris fournitures.*

. . . . . .

Tabernacles.

		fr. c.	fr.
Un tabernacle de bouche à clef complet pour robinet de prise ou de jauge de 0m,020 à 0m,055, compris fournitures et main-d'œuvre.	Dessus de tabernacle..	1 50	3 »
	16 briques.....	» 80	
	Main-d'œuvre.....	» 70	
Un tabernacle en briques et ciment, formant cuvette, pour robinets d'arrêt, sous bouches d'eau et bornes-fontaines.....	40 briques.....	2 »	7 »
	25 kg. de ciment.... .	1 50	
	Dessus de tabernacle..	2 »	
	Main-d'œuvre.....	1 50	

Bouches à clef.

Une bouche à clef en fonte à un trou avec tabernacle ordinaire pour robinets de 0m,020 à 0m,055.	Tabernacle.....	3 »	14 20
	Tête mobile.....	7 30	
	Tube à collerette (0m,65 de longueur utile)...	3 40	
	Main-d'œuvre de pose de tête mobile et tube.	» 50	
Une bouche à clef en fonte à deux trous, avec tabernacle ordinaire, pour appareils de jauge de 0m,020 à 0m,055.....	Tabernacle.....	3 »	15 »
	Tête mobile.....	6 20	
	Tube à collerette.....	5 20	
	Main-d'œuvre de pose..	» 60	
Une bouche à clef en fonte à un trou, avec tabernacle en briques et ciment, formant cuvette, pour robinets d'arrêt sous bouches d'eau et bornes-fontaines.....	Tabernacle.....	7 »	18 20
	Tête mobile.....	7 30	
	Tube à collerette.....	3 40	
	Main-d'œuvre de pose.	» 50	

Tubes en excédent.

Plus-value par mètre, pour fourniture et pose, d'excédent de longueur de tube de bouche à clef en fonte à un trou.....	1 mètre de tube.....	4 67	6 »
	Pose et déchet.....	1 33	

Rondelles en cuir gras.

Une rondelle en cuir gras pour tuyaux de :

0,010 à 0,027 de diamètre.....		» 20
0,034 —	.....	» 22
0,040 —	.....	» 24

		fr. c.
0,050 à 0,055 de diamètre		» 30
0,060	—	» 40
0,081	—	» 50
0,100	—	» 65
0,108	—	» 70
0,135	—	» 90
0,150	—	1 »
0,162	—	1 10
0,190	—	1 30
0,200	—	1 40
0,216	—	1 50
0,250	—	1 70
0,300	—	1 90
0,325	—	2 »
0,350	—	2 20
0,400	—	2 50
0,500	—	3 »

Colliers à lunette et colliers de prise en charge.

Collier à lunette en fer forgé, compris boulons de serrage, pour tuyaux de :

0,054 ou 0,060 de diamètre,	pesant	2k, 500		2 50
0,081	—	—	3 200	3 20
0,100	—	—	3 700	3 70
0,108	—	—	3 900	3 90
0,135	—	—	4 200	4 20
0,150	—	—	4 400	4 40
0,162	—	—	4 650	4 65
0,190	—	—	5 300	5 30
0,200	—	—	5 650	5 65
0,216	—	—	6 000	6 »
0,250	—	—	6 500	6 50
0,300	—	—	7 500	7 50
0,325	—	—	8 000	8 »
0,350	—	—	8 800	8 80
0,400	—	—	10 000	10 »
0,500	—	—	13 000	13 »
0,600	—	—	17 000	17 »
0,800	—	—	22 000	22 »
1,000	—	—	28 000	28 »
1,100	—	—	32 000	32 »

Un collier de prise en charge de 0m,020 à 0m,040 en fer forgé, compris taraudage, pour tuyaux de :

0,054 ou 0,060 de diamètre,	pesant	2k, 700		3 30
0,081	—	—	3 400	4 »
0,100	—	—	3 900	4 50

			fr. c.
0,108 ou 8,060 de diamètre, pesant	4k, 200	.....	4 80
0,135 — —	4 500	.....	5 10
0,150 — —	4 700	.....	5 30
0,162 — —	4 900	.....	5 50
0,190 — —	5 600	.....	6 20
0,200 — —	5 900	.....	6 50
0,216 — —	6 300	.....	6 90
0,250 — —	6 800	.....	7 40
0,300 — —	7 800	.....	8 40
0,325 — —	8 300	.....	8 90
0,350 — —	9 100	.....	9 70
0,400 — —	10 300	.....	10 90
0,500 — —	13 400	.....	14 »
0,600 — —	17 500	.....	18 10
0,800 — —	22 500	.....	23 10
1,000 — —	28 500	.....	29 10
1,100 — —	32 500	.....	33 10

Un collier à lunette pour prises d'eau de 0m,055 et de 0m,060, compris boulons prisonniers et écrous, pour conduite de :

0,300 de diamètre, pesant	25k, 000	.....	25 »
0,350 —	28 000	.....	28 »
0,400 —	30 000	.....	30 »
0,500 —	32 500	.....	32 50
0,600 —	35 000	.....	35 »
0,800 —	40 000	.....	40 »
1,000 —	46 000	.....	46 »
1,100 —	51 000	.....	51 »

Nota. — Dans le cas où les trois écrous en fer des prisonniers seraient remplacés par trois écrous en bronze (pesant chacun 125 grammes environ), le prix de chacun des colliers ci-dessus serait augmenté de..... 2 »

Un collier à lunette pour prise d'eau de 0m,100, compris boulons prisonniers et écrous, pour conduite de :

0,300 de diamètre, pesant	27k, 000	.....	27 »
0,350 —	30 000	.....	30 »
0,400 —	32 000	.....	32 »
0,500 —	34 500	.....	34 50
0,600 —	37 000	.....	37 »
0,800 —	42 000	.....	42 »
1,000 —	48 000	.....	48 »
1,100 —	53 000	.....	53 »

Nota. — Dans le cas où les quatre écrous en fer des prisonniers seraient remplacés par quatre écrous en bronze, le prix de chacun des colliers ci-dessus serait augmenté de..... 2 60

Coupements de tuyaux.

			fr.	c.
Coupement de tuyaux de	0,054 ou 0,060	de diamètre	»	30
—	0,081	—	»	40
—	0,100	—	»	50
—	0,108	—	»	55
—	0,135	—	»	60
—	0,150	—	»	70
—	0,162	—	»	80
—	0,190	—	»	90
—	0,200	—	»	90
—	0,216	—	»	90
—	0,250	—	1	»
—	0,300	—	1	20
—	0,325	—	1	25
—	0,350	—	1	50
—	0,400	—	2	»
—	0,500	—	3	»
—	0,600	—	5	»
—	0,800	—	7	»
—	1,000	—	11	50
—	1,100	—	14	»

Essais de tuyaux et de robinets-vannes.

Essai d'un tuyau de	0,054 ou 0,060	de diamètre		»	10
—	0,100	—		»	15
—	0,150	—		»	20
—	0,200	—		»	20
—	0,250	—		»	25
—	0,300	—		»	30
—	0,350	—		»	40
—	0,400	—		»	70
—	0,500	—		»	80
—	0,600	—		1	»
—	0,800	—		1	75
—	1,000	—		2	75
—	1,100	—		3	30
Essai d'un robinet-vanne de		0,100	de diamètre	»	25
—	—	0,150	—	»	35
—	—	0,200	—	»	45
—	—	0,250	—	»	60
—	—	0,300	—	»	75
—	—	0,350	—	1	»
—	—	0,400	—	1	25
—	—	0,500	—	1	50
—	—	0,600	—	1	75

	fr. c.
Essai d'un robinet-vanne de 0,800 de diamètre	2 30
— — 1,000 —	3 50
— — 1,100 —	4 50

Percement de trous de boulons.

Percement d'un trou de boulon jusqu'à 0,025 de diamètre, dans une bride en fer, en fonte ou en cuivre, d'une épaisseur de 0,025 et au-dessous	» 50
— D'une épaisseur au-dessus de 0,025	1 »

Percement de trous pour prises d'eau.

Percement dans un tuyau en fonte, soit avec la machine à percer, soit avec le burin, non compris taraudage :

D'un trou de 0,013 à 0,040	1 50
— 0,054 à 0,060	2 50
— 0,081 à 0,108	4 »
— 0,135 à 0,162	6 50
— 0,190 à 0,216	9 »
— 0,250 à 0,325	13 »
— 0,350 à 0,400	16 »
— 0,500	20 »

Taraudage.

Taraudage sur fer, fonte ou bronze, d'un trou pour boulon prisonnier ou d'un écrou	» 30
Taraudage dans un tuyau en fonte d'un trou de 0,013 à 0,030	» 60
— — — 0,035 à 0,050	» 80

Percements de tuyaux en tôle et bitume.

Percement d'un tuyau en tôle et bitume, comprenant l'enlèvement du bitume le nettoyage et l'étamage de la tôle, le percement de la conduite au trépan, l'ajustage et le soudage du tuyau en plomb, la fourniture de la soudure et le remplacement du bitume :

Pour un trou de 0,013 à 0,020	2 55
— 0,027	3 55
— 0,030	3 95
— 0,035	4 45
— 0,040	4 95
— 0,045	5 40
— 0,050	5 90
— 0,060	6 80
— 0,081	7 50

Nœuds de soudure ou embranchements.

Un nœud ou un embranchement de soudure pour tuyaux de :

		fr. c.
0,010 à 0,015	devant contenir 0k, 300 de soudure.....	» 90
0,020	— 0 450 —	1 35
0,025 à 0,027	— 0 550 —	1 65
0,030	— 0 670 —	2 »
0,035	— 0 760 —	2 30
0,040	— 0 900 —	2 70
0,050	— 1 150 —	3 45
0,054 à 0,055	— 1 290 —	3 85
0,060	— 1 500 —	4 50
0,081	— 2 200 —	6 60
0,100	— 2 620 —	7 85
0,135	— 3 500 —	10 50
0,162	— 4 450 —	13 35

Soudures de soupapes et empattements.

Une soudure de soupape, de bonde de fond et empattement pour rondelle rapportée, pour un diamètre de :

0,020	devant contenir 0k, 250 de soudure.....	» 75
0,025 à 0,027	— 0 300 —	» 90
0,030	— 0 340 —	1 »
0,035	— 0 400 —	1 20
0,040	— 0 450 —	1 35
0,050	— 0 600 —	1 80
0,054 à 0,055	— 0 680 —	2 05
0,060	— 0 750 —	2 25
0,081	— 1 100 —	3 30
0,100	— 1 350 —	4 05
0,135	— 1 800 —	5 40
0,162	— 2 300 —	6 90

Nota. — Les tamponnages de tuyaux en plomb seront payés moitié du prix des empattements.

Robinets divers en bronze.

Un robinet de borne-fontaine, en bronze, pesant 4 kilogrammes, à soupape, siège indépendant du boisseau, soupape rappelée par un ressort spirale ou par une vis modérateur faisant corps avec le robinet, compris plus-value pour pas de vis, cuir, etc.....	30 »
Un robinet à repoussoir supprimant le coup de bélier, à système intermittent, compris tous accessoires et mise en place.....	40 »
Un robinet à repoussoir supprimant le coup de bélier, à système intermittent, compris tous accessoires et mise en place, avec son bouton de repoussoir fixé sur le couvercle.....	50 »

fr. c.

Un robinet à jauge de :

0,020 à deux clefs, en bronze, pesant			4k, 000.....	18 »
0,027	—	—	5 000.....	22 50
0,040	—	—	7 000.....	31 50
0,055	—	—	15 500.....	69 75

Cols de cygne.

Un col de cygne en cuivre, à repoussoir ou à robinet, en bronze, de 0,025 de diamètre..... 25 »

Chapeaux en fonte.

Un chapeau en fonte pesant	0k, 800	pour robinets de	0,020 à 0,035..	» 60
—	—	2 000 —	0,041 à 0,100..	1 25

Ajustement de robinets.

Ajustement d'un robinet de	0,020 à 0,035	compris transport.....		1 »
—	—	0,041 à 0,055	—	1 80
—	—	0,060 à 0,100	—	3 »

Ligatures en fil de fer galvanisé.

Une ligature en fil de fer galvanisé, pour attache de raccord :

De tuyaux d'incendie ou d'arrosement de		0,027.....	» 25
—	—	0,041.....	» 50
—	—	0,060.....	» 75

Trappes de regard.

Dépose et repose d'une trappe de regard, compris transport à 50 mètres. 3 50

Transport et pose d'une trappe en fonte, petit ou grand modèle :

1. Transport.....	2 50	4 50
2. Pose.....	2 »	

Dépose et transport au dépôt d'une trappe en fonte, petit ou grand modèle :

1. Dépose.....	1 50	4 »
2. Transport.....	2 50	

. . . . . .

5e **Section.** — *Ouvrages complets.*

Prises d'eau complètes.

Prise en charge sur conduite en fonte, sous galerie, sans bouche à clef, comprenant :

	DIAMÈTRE		
	0,020	0,027	0,041
1. Un robinet de prise en charge, en bronze, pesant 3, 4 et 6k,500, du prix de	fr. c. 13 50	fr. c. 18 »	fr. c. 29 25
2. Un chapeau en fonte avec clavette en cuivre	» 60	» 60	1 25
3. Une contre-bride en fer et boulons	» 55	» 55	» 70
4. Deux rondelles en cuir gras	» 40	» 40	» 48
5. Un percement de tuyaux en fonte	1 50	1 50	1 50
6. La main-d'œuvre (mise en place du collier et façon des joints)	2 95	2 95	3 32
Prix	19 50	24 »	36 50

Prise en charge, en terre, sur conduite en fonte, avec bouche à clef à un trou, comprenant :

	DIAMÈTRE		
	0,020	0,027	0,041
1. Le dépavage, la fouille, le remblai, le repavage et l'enlèvement des terres excédentes	fr. c. 3 80	fr. c. 3 80	fr. c. 3 80
2. Un robinet de prise en charge, en bronze (3, 4 et 6k,500)	13 50	18 »	29 25
3. Un chapeau en fonte	» 60	» 60	1 25
4. Une contre-bride et les boulons, en fer	» 55	» 55	» 70
5. Deux rondelles en cuir gras	» 40	» 40	» 48
6. Un percement de tuyau en fonte	1 50	1 50	1 50
7. La main-d'œuvre (mise en place et façon des joints)	2 65	2 65	3 02
8. Une bouche à clef en fonte avec tabernacle ordinaire	14 20	14 20	14 20
Prix	37 20	41 70	54 20

Prise en terre, sur conduite en fonte, avec robinet à soudures à deux eaux, collier à lunette ordinaire et collet battu, avec bouche à clef en fonte à un trou, comprenant :

	DIAMÈTRE		
	0,020	0,027	0,041
	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Le dépavage, la fouille, le remblai, le repavage et l'enlèvement des terres excédentes	3 80	3 80	3 85
2. Un robinet à soudures à deux eaux, en bronze	13 50	18 »	29 25
3. Un chapeau en fonte	» 60	» 60	1 25
4. Une rondelle en cuir gras	» 20	» 20	» 24
5. Un percement de tuyau en fonte	1 50	1 50	1 50
6. Deux nœuds de soudure au robinet	2 70	3 30	5 40
7. La main-d'œuvre (mise en place et façon des joints).	2 70	2 70	3 01
8. Une bouche à clef en fonte avec tabernacle ordinaire.	14 20	14 20	14 20
Prix	39 20	44 30	58 70

Prise en terre, sur conduite en tôle et bitume, avec robinet à soudures, à deux eaux, et bouche à clef en fonte à un trou :

	DIAMÈTRE		
	0,020	0,027	0,041
	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Dépavage, fouille, remblai, repavage et enlèvement des terres excédentes	3 80	3 80	3 85
2. Robinet à soudures, à deux eaux, en bronze	13 50	18 »	29 25
3. Chapeau en fonte	» 60	» 60	1 25
4. Percement de la conduite en tôle et bitume, soudure du plomb, etc.	2 55	3 55	4 95
5. Deux nœuds de soudure au robinet	2 70	3 30	5 40
6. Main-d'œuvre de mise en place	2 65	2 65	3 »
7. Bouche à clef en fonte, avec tabernacle ordinaire	14 20	14 20	14 20
Prix	40 »	46 10	61 90

Prise d'eau, sous galerie, sur tubulure, sans bouche à clef :

	DIAMÈTRE	
	0,060	0,100
	fr. c.	fr. c.
1. Robinet en bronze à deux brides (17 et 27kg)	76 50	121 50
2. Chapeau en fonte	1 25	1 25
3. Fer forgé pour boulons	» 75	1 90
4. Deux rondelles en plomb	1 70	3 75
5. Main-d'œuvre pour descente du robinet, mise en place et façon des joints	3 »	3 40
Prix	83 20	131 80

Prise d'eau sous galerie, sur percement et collier sans bouche à clef :

	DIAMÈTRE	
	0,060	0,100
	fr. c.	fr. c.
1. Robinet à deux brides en bronze	76 50	121 50
2. Chapeau en fonte	1 25	1 25
3. Fer forgé pour boulons	» 75	1 90
4. Deux rondelles en plomb	1 70	3 75
5. Deux rondelles en cuir gras	» 80	1 30
6. Percement de la conduite en fonte	2 50	4 »
7. Main-d'œuvre pour pose du collier, descente du robinet, mise en place et façon des joints	3 40	3 80
Prix	86 90	137 50

Prise d'eau en terre, sur tubulure, avec bouche à clef en fonte à un trou :

	DIAMÈTRE	
	0,060	0,100
	fr. c.	fr. c.
1. Dépavage, fouille, remblai, repavage et enlèvement des terres excédentes	5 10	5 90
2. Robinet à deux brides en bronze	76 50	121 50
3. Chapeau en fonte	1 25	1 25
4. Fer forgé pour boulons	» 75	1 90
5. Deux rondelles en plomb	1 70	3 75
6. Main-d'œuvre, mise en place et façon des joints	3 »	3 40
7. Bouche à clef en fonte à un trou avec tabernacle ordinaire	15 70	15 70
PRIX	104 »	153 40

Appareils de jauge.

1° *En terre :*

	DIAMÈTRE			
	0,020	0,027	0,040	0,055
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Robinet de jauge en bronze à deux clefs (poids : 4, 5, 7, et 15k,500)	18 »	22 50	31 50	69 75
2. Chapeau en fonte sur la clef d'arrêt	» 60	» 60	1 25	1 25
3. Deux nœuds de soudure au robinet	2 70	3 30	5 40	» »
4. Deux contre-brides et six boulons (poids, 6k,6)	» »	» »	» »	6 60
5. Deux rondelles en cuir gras	» »	» »	» »	» 60
6. Ajustement et pose	1 20	1 20	1 65	1 80
7. Bouche à clef en fonte à deux trous avec tabernacle ordinaire	15 »	15 »	15 »	15 »
PRIX	37 50	42 60	54 80	95 »

2° *Sous galerie :*

	DIAMÈTRE			
	0,020	0,027	0,040	0,055
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Robinet de jauge, en bronze, à deux clefs...	18 »	22 50	31 50	69 75
2. Deux nœuds de soudure au robinet.....	2 70	3 30	5 40	» »
3. Deux contre-brides en fer et six boulons....	» »	» »	» »	6 60
4. Supports en fer feuillard, à double scellement, mis en place.....	» 30	» 40	» 45	» 70
5. Ajustement et pose.....	1 55	1 55	2 35	2 35
6. Plus-value pour main-d'œuvre sous galerie.	» 45	» 45	» 60	» 60
Prix.....	23 »	28 20	40 30	80 »

Fourniture et pose d'une bouche de lavage sous trottoir
avec tubulure d'arrivée par côté.

		fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Démontage de trottoir pavé ou dallé.....	1,80 à	» 15	» 27	
2. Fouille et jet sur berge.....	1,500	» 80	1 20	
3. Remblai et pilonnage.....	1,222	» 40	» 49	
4. Pavage soigné, sans fourniture de sable, ou remise en place des matériaux du trottoir.....	1,80	» 50	» 90	
5. Transport des terres excédentes aux décharges.....	0,278	4 »	1 11	
				3 97
6. Massif de fondation en briques façon Bourgogne et ciment.....	0,128	60 »	7 68	
				7 68
7. Kilogrammes de fonte pour le coffre de la bouche.....	55,000	» 40	22 »	
8. Percement et taraudage de trous pour boulons prisonniers, destinés à fixer le robinet de service à soupape.....	2	» 80	1 60	
9. Boulons prisonniers en fer pour fixer le robinet de service.....	2	» 50	1 »	
10. Écrous en bronze (poids, 0k,050 chacun) pour robinet de service.....	2	» 50	1 »	
A reporter.....			25,60	11,65

		fr. c.	fr. c.	fr. c.
Report.....			25.60	11,65
11. Alésage de la chambre du robinet de service.....	1	à 3 »	3 »	
12. Ajustage du trou pour le passage de la tige du robinet d'arrêt.....	1	3 »	3 »	
13. Contre-bride triangulaire et trois boulons en fer pour fixer la colonne montante du coffre de la bouche.....	0k650	1 »	» 65	
14. Percement des trous pour les tourillons des deux portes.....	4	» 25	1 »	
15. Robinet de service en bronze, portant raccord mâle de 0,041 avec soupape en cuirs superposés et tournés (poids, 2k,200) compris tous accessoires.....	1	17 »	17 »	
16. Rondelle en bronze (0k,165) formant siège de la soupape.....	1	1 »	1 »	
17. Rondelles en caoutchouc.....	2	» 60	1 20	
18. Ajustement et montage.....	»	» »	6 »	
			——	58 45
19. Kilogrammes de fonte pour le grand couvercle.....	6,000	» 40	2 40	
20. Percement et taraudage de trous de prisonniers pour fixer la serrure.....	2	» 50	1 »	
21. Boulons prisonniers pour fixer la serrure.	2	» 25	» 50	
22. Serrure en bronze.....	1	5 »	5 »	
23. Ajustement de l'entrée de la serrure et de celle du robinet de service dans la fonte du couvercle.....	2	» 25	» 50	
24. Percement de trous pour les tourillons, leur boulon et celui du régulateur.....	4	» 25	1 »	
25. Tourillons en fer.....	2	» 30	» 60	
26. Régulateur et son écrou, en bronze (0k,250)	1	1 50	1 50	
27. Boulons pour tourillons et régulateur....	2	» 25	» 50	
28. Ajustement et montage.....	1	2 25	2 25	
			——	15 25
29. Kilogrammes de fonte pour le petit couvercle.....	3,500	» 40	1 40	
30. Percement et taraudage de boulons prisonniers.....	2	» 50	1 »	
31. Boulons prisonniers pour fixer la serrure.	2	» 25	» 50	
32. Serrure en bronze.....	1	5 »	5 »	
33. Ajustement du trou de la serrure dans la fonte du couvercle.....	1	» 25	» 25	
34. Percement de trous pour les deux tourillons et leur boulon.....	3	» 25	» 75	
			——	——
A reporter.....			8, 90	85,35

			fr. c.	fr. c.	fr. c.
	Report.....			8,90	85,35
35.	Tourillons en fer.....	2	à » 30	» 60	
36.	Ajustement et montage.....	»	» »	1 50	
				——	11 »
37.	Robinet d'arrêt de 0,27 à deux eaux en bronze, à décharge.....	4ᵏ000	4 50	18 »	
38.	Chapeau en fonte sur ledit robinet.....	1	» 60	» 60	
39.	Nœuds de soudure de 0,027, sur le robinet.	2	1 65	3 30	
40.	Colonne montante en plomb de 0,027 et de 1 mètre à 1ᵐ,10 de longueur.....	9ᵏ240	» 75	6 93	
41.	Rondelle de 0,027 en cuir gras.....	1	» 20	» 20	
42.	Tabernacle en briques et ciment formant cuvette.....	1	7 »	7 »	
43.	Tube en fonte, à collerette, de bouche à clef.....	1	3 40	3 40	
44.	Tige en fer pour le robinet d'arrêt.....	4ᵏ500	1 »	4 50	
				——	43 93
45.	Mise en place, toute main-d'œuvre comprise.....				7 62
	Prix d'une bouche de lavage fournie et posée.....				147 90

Fourniture et pose d'une bouche sous trottoir, *pour arrosement au tonneau, avec tubulure en dessous.*

			fr. c.	fr. c.	fr. c.
1.	Démontage de trottoir pavé ou dallé.....	1,80	à » 15	» 27	
2.	Fouille et jet sur berge.....	1,500	» 80	1 20	
3.	Remblai et pilonnage.....	1,222	» 40	» 49	
4.	Pavage soigné sans fourniture de sable ou remise en place des matériaux du trottoir.....	1,80	» 50	» 90	
5.	Transport des terres excédentes aux décharges.....	0,278	4 »	1 11	
				——	3 97
6.	Massif de fondation en briques façon Bourgogne et ciment.....	0,128	60 »	7 68	
				——	7 68
7.	Kilogrammes de fonte pour le coffre de la bouche.....	60,000	» 40	24 »	
8.	Percement et taraudage de trous pour boulons prisonniers.....	2	» 80	1 60	
9.	Boulons prisonniers en fer.....	2	» 50	1 »	
10.	Écrous en bronze de 0ᵏ050.....	2	» 50	1 »	
11.	Alésage de la chambre du robinet de service.....	1	3 »	3 »	
	A reporter.....			30,60	11,65

			fr. c.	fr.	fr. c.
	Reports.....			30 60	11 65
12.	Ajustage du trou pour le passage de la tige du robinet d'arrêt.....	1	à 3 »	3 »	
13.	Contrebride triangulaire en fer et trois boulons pour fixer la colonne montante en plomb.....	0k700	1 »	» 70	
14.	Percement de trous pour les tourillons des deux portes.....	4	» 25	1 »	
15.	Robinet de service de 0,060 en bronze, avec soupape en cuirs superposés et tournés, compris tous accessoires.....	1	25 »	25 »	
16.	Rondelle en bronze formant siège de la soupape.....	1	2 »	2 »	
17.	Rondelles en caoutchouc.....	2	» 75	1 50	
18.	Ajustement et montage du coffre.....			8 »	
				——	71 80
19.	Kilogrammes de fonte pour le petit couvercle.....	3k500	» 40	1 40	
20.	Percement et taraudage de trous de prisonniers pour fixer la serrure.....	2	» 50	1 »	
21.	Boulons prisonniers.....	2	» 25	» 50	
22.	Serrure en bronze.....	1	5 »	5 »	
23.	Ajustement du trou de la serrure dans la fonte du couvercle.....	1	» 25	» 25	
24.	Percement de trous pour les tourillons et leur boulon.....	3	» 25	» 75	
25.	Tourillons en fer.....	2	» 30	» 60	
26.	Ajustement et montage.....			1 50	
				——	11 »
27.	Kilogrammes de fonte pour le grand couvercle.....	6k000	» 40	2 40	
28.	Percement et taraudage de trous de prisonniers.....	2	» 50	1 »	
29.	Fourniture et pose de boulons prisonniers.	2	» 25	» 50	
30.	Serrure en bronze.....	1	5 »	5 »	
31.	Ajustement de l'entrée de la serrure dans la fonte du couvercle.....	1	» 25	» 25	
32.	Percement de trous pour les tourillons et leurs boulons.....	4	» 25	1 »	
33.	Boulons pour tourillons.....	2	» 25	» 50	
34.	Tourillons.....	2	» 30	» 60	
35.	Ajustement et montage.....			1 75	
				——	13 »
36.	Robinet d'arrêt de 0,055 en bronze à deux eaux et décharge.....	8k500	4 50	38 25	
37.	Chapeau en fonte sur ledit robinet.....	1	1 25	1 25	
	A reporter.....			39 50	107 45

			fr. c.	fr. c.	fr. c.
		Reports.....		39 50	107 45
38. Nœuds de soudure de 0,055 au robinet...	2	à	3 85	7 70	
39. Colonne montante en plomb de 0,060 et de 0,80 à 1,00 de longueur.....	17k000		» 75	12 75	
40. Rondelle en cuir gras de 0,055.....	1		» 30	» 30	
41. Tabernacle en briques et ciment formant cuvette.....	1		7 »	7 »	
42. Tube en fonte à collerette de bouche à clef.	1		3 40	3 40	
43. Tige en fer pour le robinet d'arrêt.....	1,500		1 »	4 50	
				——	75 15
44. Main-d'œuvre de mise en place et pose de la colonne montante.....					8 40
					——
Prix d'une bouche grand modèle sous trottoir, fournie et posée.					191 »

Fourniture et pose d'une bouche carrée d'arrosage à la lance.

			fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Démontage du trottoir pavé ou dallé.....	0,80	à	» 15	» 12	
2. Fouille et jet sur berge.....	0,560		» 80	» 43	
3. Remblai et pilonnage.....	0,330		» 40	» 13	
4. Repavage soigné, sans fourniture de sable ou remise en place des matériaux du trottoir.....	0,80		» 50	» 40	
5. Transport des terres excédentes aux décharges.....	0,234		4 »	» 94	
				——	2 04
6. Massif de fondation en briques et ciment.	0,084		60 »	5 04	
				——	5 04
7. Kilogrammes de fonte pour le coffre de la bouche.....	12k000		» 40	4 80	
8. Percement et taraudage de trous de boulons prisonniers.....	2		» 80	1 60	
9. Boulons prisonniers.....	2		» 50	1	
10. Écrous en bronze.....	2		» 50	1 »	
11. Percement de trous pour les tourillons..	2		» 25	» 50	
12. Alésage de la chambre du robinet de service.....	1		3 »	3 »	
13. Deux contrebrides en fer et trois boulons.....	0,800		1 »	» 80	
14. Percement et taraudage de trous pour boulons prisonniers avec deux brides.	3		» 50	1 50	
15. Boulons prisonniers.....	3		» 25	» 75	
		A reporter.....		14 95	17 08

			fr. c.	fr. c.	fr. c.
	Reports.....			14 95	17 08
16.	Robinet de service avec raccord de 0,041 en bronze, avec soupape en cuirs superposés et tournés, compris tous accessoires.....	1	à 17 »	17 »	
17.	Rondelle en bronze formant siège de la soupape.....	1	1 »	1 »	
18.	Rondelles en caoutchouc.....	2	» 60	1 20	
19.	Ajustement et montage.....	»	» »	5 »	
				——	39 15
20.	Kilogrammes de fonte pour le couvercle.	2k500	» 40	1 »	
21.	Percement et taraudage de trous de boulons.....	2	» 50	1 »	
22.	Boulons prisonniers.....	2	» 25	» 50	
23.	Serrure en bronze.....	1	5 »	5 »	
24.	Ajustement de l'entrée de la serrure dans la fonte du couvercle.....	1	» 25	» 25	
25.	Percement de trous pour les tourillons et leur boulon.....	3	» 25	» 75	
26.	Tourillons en fer.....	2	» 30	» 60	
27.	Boulons pour tourillons.....	1	» 25	» 25	
28.	Ajustement et montage.....	»	» »	1 50	
				——	10 85
29.	Robinet d'arrêt de 0,027 à deux eaux et à décharge en bronze.....	4k000	4 50	18 »	
30.	Chapeau en fonte.....	1	» 60	» 60	
31.	Nœuds de soudure de 0,027.....	2	1 65	3 30	
32.	Colonne montante en plomb de 0,027 et 0,80 de longueur.....	6k730	» 75	5 04	
33.	Rondelle de 0,027 en cuir gras.....	1	» 20	» 20	
34.	Bouche à clef en fonte à un trou, avec tabernacle en briques et ciment formant cuvette.....	1	18 20	18 20	
				——	45 34
35.	Moignon de plomb de 0,025 en 4 millimètres d'épaisseur et 1 mètre de longueur pour décharge du coffre de la bouche.....	4k15	» 75	3 11	3 11
36.	Mise en place, toutes mains-d'œuvre comprises.....				4 47

Prix d'une bouche d'arrosage à la lance, fournie et posée.. 110 »

Pose d'une borne-fontaine de lavage *comprenant armature intérieure, robinet d'arrêt extérieur sans bouche à clef, non compris le branchement alimentaire à partir de ce robinet.*

		fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Démontage de la chaussée ou du trottoir, terrassement, raccord provisoire du sol et enlèvement des terres excédentes.....				5 96
2. Massif de fondation en maçonnerie de meulière et ciment.....	0,216 à	34 60	7 47	
			———	7 47
3. Vis pour fixer le coffre à la cuvette.....	4	» 15	» 60	
4. Percement des trous pour lesdites vis...	8	» 15	1 20	
5. Taraudage des trous.....	4	» 10	» 40	
6. Boulons pour fixer la douille à la cuvette.	0k330	1 »	» 33	
7. Rondelle en plomb pour le joint.....	0 420	» 75	» 32	
8. Porte en tôle de 0,004 d'épaisseur, cintrée, y compris tous percements, vis, tourillons, cache-entrée, etc.....	»	» »	5 »	
9. Serrure en bronze.....	»	» »	5 »	
10. Boulons prisonniers à écrou en fer.....	2	» 25	» 50	
11. Nez en fonte avec bagues en bronze portant pas de vis.....	1	4 50	4 50	
12. Rondelles en cuir gras de 0,081 pour le joint.....	2	» 50	1 »	
13. Boulon de nez avec clavette maintenue par une chaînette fixée au coffre.....	1	1 25	1 25	
14. Robinet en bronze, à soupape, suivant modèle adopté, compris tous pas de vis.	1	30 »	30 »	
15. Tuyau en plomb de 0,027 et 2 mètres de longueur entre le robinet intérieur et le robinet d'arrêt.....	16k800	» 75	12 60	
16. Une bride en fer et deux boulons pour le joint de raccord du tuyau au robinet..	0 600	1 »	» 60	
17. Rondelle en cuir gras de 0,027.....	1	» 20	» 20	
18. Transport de la borne-fontaine et de sa cuvette du dépôt des fontes à l'atelier..	1	2 »	2 »	
19. Pose et ajustement à l'atelier.....	»	» »	5 50	
			———	71 »
20. Peinture de la borne-fontaine trois couches.	»	» »	1 »	1 »
21. Robinet en bronze, à deux eaux, à décharge, pour arrêt au pied de la borne-fontaine.....	4k000	4 50	18 »	
22. Chapeau en fonte audit robinet.....	1	» 60	» 60	
23. Nœuds de soudure de 0,027.....	2	1 65	3 30	
			———	———
A reporter.....			21 90	85 43

			fr. c.	fr. c.
	Reports.....		21 90	85 43
24.	Bouche à clef en fonte avec tabernacle en briques et ciment formant cuvette..	»	» »	18 20	
25.	Transport de l'atelier au chantier et mise en place.....	»	» »	10 97	
				——	51 07
	Prix d'une borne-fontaine de lavage mise en place.				136 50

Pose d'une borne-fontaine à puisage facultatif, *avec robinet à repoussoir évitant le coup de bélier, non fourni par l'entrepreneur, avec cuvette et grille ordinaire en fonte, comprenant armature intérieure, robinet d'arrêt extérieur sous bouche à clef, mais non compris le branchement alimentaire.*

			fr. c.	fr. c.	fr. c.
1.	Démontage de la chaussée ou du trottoir, raccord provisoire du sol, enlèvement des terres, etc., maçonnerie pour massifs.....				13
2.	Vis pour fixer le coffre à la cuvette.....	4	à » 15	» 60	
3.	Percement de trous pour lesdites vis....	8	» 15	1 20	
4.	Taraudage de trous.....	4	» 10	» 40	
5.	Boulons pour fixer la douille à la cuvette.	0 33	1 »	» 33	
6.	Rondelle en plomb pour le joint.....	0 42	» 75	» 32	
7.	Porte en tôle de $0^m,004$ d'épaisseur, entrée, y compris trous, percements, vis, tourillons, cache-entrée, etc.....	»	» »	5 »	
8.	Serrure en bronze.....	»	» »	5 »	
9.	Boulons prisonniers à écrous en fer....	2	» 25	» 50	
10.	Nez en fonte avec bague en bronze portant pas de vis.....	1	4 50	4 50	
11.	Rondelles en cuir gras de 0,081 de diamètre pour le joint avec le robinet....	2	» 50	1 »	
12.	Boulon de nez avec clavette retenue par une chaînette fixée au coffre.....	1	1 25	1 25	
13.	Transport de la borne-fontaine et de la cuvette, du dépôt à l'atelier, ou, lorsque la fonte sera fournie par l'entrepreneur, de son atelier à celui du fournisseur de robinets à repoussoir.....	1	2 »	2 »	
14.	Pose et ajustement des pièces à l'atelier.	»	» »	5 50	
				——	27 60
15.	Peinture à l'huile, trois couches.....				1 »
16.	Robinet en bronze, à deux eaux, à dé-				
	A reporter.....				42 03

			fr. c.	fr. c.	fr. c.
	Report.....				42 03
	charge, pour arrêt au pied de la borne-fontaine.....	3ᵏ000	à 4 50	13 50	
17.	Chapeau en fonte audit robinet.....	1	» 60	» 60	
18.	Nœuds de soudure de 0,020.....	2	1 35	2 70	
19.	Bouche à clef en fonte, avec tabernacle en briques et ciment formant cuvette.....	1	18 20	18 20	
20.	Transport de l'atelier au chantier de la borne-fontaine et de ses accessoires et mise en place de ladite.....			10 87	
				——	45 87
	Prix d'une borne-fontaine à puisage facultatif, mise en place, non compris le robinet à repoussoir et ses accesssoires.....				87 90

Bouches d'incendie.

Fourniture et pose, sous trottoir, d'une bouche d'incendie de 0,100 de diamètre pour pompe à vapeur, toutes fournitures et mains-d'œuvre comprises :

			fr. c.	fr. c.	fr. c.
1.	Démontage de la chaussée ou du trottoir, déblai, remblai, reblocage provisoire et enlèvement des terres excédentes, etc.	»	» »	8 26	
2.	Massif en maçonnerie de meulière et ciment.....	0,360	à 34 60	12 46	
				——	20 72
3.	Coffre en fonte de la bouche d'eau avec sa tubulure rapportée, pesant ensemble.	55ᵏ000	» 40	22 »	
4.	Huit boulons pour fixer la tubulure.....	1ᵏ	1 »	1 »	
5.	Percement de douze trous de boulons dans les brides du coffre et de la tubulure.....	12	» 50	6 »	
6.	Percement et taraudage des trous de boulons prisonniers fixant les pièces en bronze et le tuyau de décharge, et des goujons recevant la double articulation du couvercle.....	13	» 80	10 40	
7.	Boulons prisonniers avec écrou en bronze pour le raccord de la soupape.....	8	» 75	6	
8.	Boulons prisonniers avec écrous en fer pour la décharge.....	3	» 60	1 80	
9.	Goujons taraudés en fer.....	2	» 50	1 »	
10.	Bride en fer pour la décharge.....	0ᵏ360	1 »	» 36	
	A reporter.....			48 56	20 72

		fr. c.	fr. c.	fr. c.
	Reports.....		48 56	20 72
11.	Joint au minium pour la tubulure.....	»	» »	1 »	
12.	Tuyau en plomb de 0,020 en 4 millimètres d'épaisseur et de 1 mètre de longueur pour la décharge.....	3k400 à	» 75	2 55	
13.	Couvercle en tôle striée de 0,005 d'épaisseur.....	5 500	1 10	6 05	
14.	Articulation en fonte malléable.....	1 000	2 50	2 50	
15.	Tourillons en fer.....	4	» 30	1 20	
16.	Boulons à tête ronde avec écrous pour tourillons.....	6	» 25	1 50	
17.	Serrure en bronze.....	»	» »	5 »	
18.	Boulons prisonniers pour la serrure avec écrous en cuivre.....	2	» 25	» 50	
19.	Inscription en lettres de cuivre (secours contre l'incendie).....	»	» »	6 »	
20.	Raccord en bronze de 0,100 fileté. 3k500				
21.	Armature de la soupape avec vis filetée..... 7 250	12k500	4 50	56 25	
22.	Siège de la soupape..... 1 750				
23.	Soupape en cuir (rondelles superposées, tournées et ajustées).....	1k	7 »	7 »	
24.	Rondelle en cuir gras de 0,15 pour le joint de la soupape.....	1	1 »	1 »	
25.	Rondelle en cuir gras de 0,10 pour le joint du raccord.....	1	» 65	» 65	
26.	Rondelle en cuir gras de 0,041 pour le joint de la vis de la soupape.....	1	» 24	» 24	
27.	Rondelle en cuir gras de 0,020 pour le joint de la soupape.....	1	» 20	» 20	
28.	Dressage, tournage et alésage des parties de fonte devant recevoir les pièces en bronze.....	»	» »	11 15	
29.	Pose et ajustement de toutes les pièces..	»	» »	4 65	
				——	156 »
30.	Rondelles en plomb de 0,100 pour les joints du robinet et du premier tuyau..	7k500	» 75	5 63	
31.	Douze boulons pour lesdits joints.....	3 000	1 »	3 »	
32.	Robinet de 0,100 en bronze.....	27 000	4 50	121 50	
33.	Chapeau en fonte malléable avec sa clavette.....	1	2 50	2 50	
34.	Tige en fer sur le robinet.....	6k000	1 »	6 »	
35.	Bouche à clef en fonte, à un trou, avec tabernacle en briques et ciment formant cuvette.....	»	» »	18 20	
36.	Pose et ajustement des pièces.....	»	» »	7 17	
				——	164 »
	Prix d'une bouche d'incendie de 0,100 sous trottoir, fournie et posée.				340 72

Observation. — Le remplacement de la serrure par deux contrepoids en fonte avec leurs boulons ne donnera lieu à aucune modification de prix.

Fourniture et pose, sous trottoir, d'une bouche d'incendie de $0^m,04$ de diamètre :

			fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Démontage du trottoir, etc. } 2. Massif en maçonnerie..... }	Comme pour la bouche d'arrosement au tonneau.....				11 65
3. Kilogrammes de fonte pour le coffre de la bouche.....	16k	à » 40		6 40	
4. Percement et taraudage de trous de boulons pour fixer le robinet de service au coffre.....	2	» 80		1 60	
5. Boulons prisonniers pour fixer le robinet de service au coffre.....	2	» 50		1 »	
6. Écrous en bronze desdits.....	2	» 50		1 »	
7. Percement de trous pour le tourillon....	2	» 25		» 50	
8. Alésage de la chambre du robinet.....	1	3 »		3 »	
9. Deux contrebrides en fer et trois boulons pour fixer la colonne montante et le tuyau de décharge au coffre.....	1,20	1 »		1 20	
10. Percement et taraudage de trous pour boulons prisonniers à la bride de décharge.....	3	» 50		1 50	
11. Boulons prisonniers.....	3	» 25		» 75	
12. Tuyau en plomb de 0,02 en 0,006 et de 1 mètre de longueur pour la décharge.	3k40	» 75		2 55	
13. Robinet de service, avec raccord de 0,041 en bronze et soupape de 0,041 en cuir tournée et perforée, tous accessoires compris.....	1	25 »		25 »	
14. Siège en bronze de la soupape.....	1	5 »		5 »	
15. Rondelle en caoutchouc pour le joint....	2	» 90		1 80	
16. Ajustement et montage.....	»	» »		5 »	
17. Kilogrammes de fonte pour couvercle...	3,50	» 40		1 40	
18. Percement et taraudage de trous (boulons de la serrure).....	2	» 50		1 »	
19. Boulons prisonniers pour la serrure.....	2	» 25		» 50	
20. Serrure en bronze.....	1	5 »		5 »	
21. Ajustement de l'entrée de la serrure dans le couvercle.....	1	» 25		» 25	
22. Percement de trous pour les tourillons et leurs boulons.....	4	» 25		1 »	
23. Articulation en fonte malléable.....	1	2 »		2 »	
24. Tourillons en fer.....	4	» 30		1 20	
25. Boulons pour tourillons.....	2	» 25		» 50	
					69 15
A reporter.....					80 80

			fr. c.	fr. c.	fr. c.
	Report.....				80 80
26.	Ajustement et montage.....	»	»	» 1 50	
27.	Robinet d'arrêt de 0,04.....	6ᵏ50	à 4 50	29 25	
28.	Chapeau en fonte pour le robinet.....	»	»	» 1 25	
29.	Nœuds de soudure de 0,04.....	2	2 70	5 40	
30.	Colonne montante en plomb de 0,04 et de 1 mètre de longueur.....	11ᵏ80	» 75	8 85	
31.	Rondelle en cuir gras de 0,041.....	»	»	» » 24	
32.	Bouche à clef en fonte à un trou avec tabernacle en briques et ciment formant cuvette.....	»	»	» 18 20	
				——	64 69
33.	Mise en place, toutes mains-d'œuvre comprises.....				6 71
	Prix d'une bouche d'incendie de 0,040 fournie et posée.				152 20

Pose de fontaines Wallace.

Pose d'une fontaine Wallace grand modèle, isolée, comprenant armature intérieure, robinet de jauge à deux clefs au pied de la fontaine, mais non compris le branchement à la suite de ce robinet.

			fr. c.	fr. c.	fr. c.
1.	Démontage de la chaussée ou du trottoir, terrassement, raccord provisoire du sol, enlèvement des terres excédentes.	»	»	» 10 12	
2.	Massif en maçonnerie de meulière et ciment.....	0,800	à 34 60	27 68	
3.	Tuyau en grès vernissé de 0,10 de diamètre pour le passage du tuyau alimentaire.....	1,00	1 80	1 80	
				——	39 60
4.	Tuyau en plomb de 0,013 de diamètre à l'intérieur et 0,004 d'épaisseur de la fontaine jusqu'au robinet de jauge, de 4 mètres de longueur.....	10ᵏ000	» 75	7 50	
5.	Cuvette en zinc avec tuyau de décharge à l'intérieur.....	1 500	3 »	4 50	
6.	Tuyau en plomb, de 0,041 et 1 mètre de longueur, scellé dans le massif pour décharge.....	11,800	» 75	8 85	
7.	Kilogrammes de fer pour supports de la cuvette et du tuyau alimentaire.....	5,000	1 »	5 »	
8.	Nœud de soudure de 0,013 pour joindre le tuyau en plomb au tube en fonte....	1	» 90	» 90	
9.	Montage sur place de la fontaine, mise en				
	A reporter.....			26 75	39 60

			fr. c.	fr. c.	fr. c.
		Reports.....		26 75	39 60
	place, pose et ajustement des pièces de fontainerie.....	»	»	» 11 15	
				——	37 90
10.	Appareil de jauge complet de 0,020 de diamètre avec sa bouche à clef en fonte et tabernacle ordinaire.....				37 50
					——
		Prix de pose d'une fontaine Wallace isolée..			115 »

Pose d'une fontaine Wallace petit modèle, comprenant tuyau intérieur et extérieur en plomb de 0,020 jusqu'au robinet de jauge et ledit robinet.

			fr. c.	fr. c.	fr. c.
1.	Démontage de la chaussée ou du trottoir, terrassement, déblai, remblai, enlèvement des terres excédentes.....	»	»	» 5 96	
2.	Massif en maçonnerie de meulière et ciment.....	0,38	à 34	60 13 14	
				——	19 10
3.	Appareil de jauge de 0,020 de diamètre, avec sa bouche à clef en fonte et tabernacle ordinaire posé en terre.....	1	37	50 37 50	
4.	Transport de la fontaine de l'atelier au chantier.....	1	2	» 2 »	
5.	Pose, ajustement des pièces, mise en place de la fontaine et du tuyau alimentaire avant le robinet de jauge.....	1	6	» 6 »	
6.	Crapaudine en cuivre, à placer dans la cuvette en fonte sur grille.....	1	3	» 3 »	
				——	48 50
		Prix de pose d'une fontaine Wallace petit modèle.			67 60

Appareil pour effet d'eau d'urinoir à stalles *avec tube longitudinal et recouvrement en zinc fondu, comprenant trois supports en cuivre fondu, vis en cuivre, percements et tamponnages de trous,* etc.

Détail pour $0^m,10$ de longueur :

		fr. c.
1.	Raccord en bronze pour joindre le branchement alimentaire avec le tube longitudinal.....	2 15
2.	Soudure de raccord.....	» 80
3.	Tube longitudinal en cuivre (laiton) de 0,010 de diamètre et de 1^{mm} 3/4 d'épaisseur, percé de trous de $0^m,002$ bien alésés à l'intérieur et espacés de $0^m,01$.....	» 70
	A reporter.....	3 65

	fr.	c.
Report.....	3	65
4. Recouvrement en zinc fondu de 0m,0045 d'épaisseur maintenu par des boulons à tête en goutte de suif.....	1	»
5. Tampon d'extrémité à vis pour dégorgements, y compris soudure..	1	55
6. Main-d'œuvre pour pose, ajustement, etc.....	1	»
Prix d'un appareil d'effet d'eau d'urinoir de 0m,10 de longueur.	7	20
Il sera ajouté pour chaque décimètre supplémentaire d'appareil complet.	2	70

Plus-value (y compris tous ajustements, coupes biaises, soudures, etc) :

	fr.	c.
1. Pour chaque angle rentrant ou saillant, à un recouvrement en zinc ou à un tuyau en cuivre.....	1	»
2. Pour talon d'extrémité d'un recouvrement en zinc.....	»	50

Pose en terre d'une conduite en fonte, à joints à emboîtements

(à 1m,20 de profondeur moyenne mesurée entre le dessus de la conduite et le dessus du pavé ou du trottoir), toutes fournitures et main-d'œuvre comprises, la fourniture de la fonte et l'essai des tuyaux seuls exceptés.

	DIAMÈTRES DES TUYAUX												
	m 0.060	m 0.100	m 0.150	m 0.200	m 0.250	m 0.300	m 0.350	m 0.400	m 0.500	m 0.600	m 0.800	m 1.000	m 1.100
1. Démontage de chaussée pavée, empierrée ou de trottoir.	fr. c. » 15	fr. c. » 15	fr. c. » 15	fr. c. » 20	fr. c. » 20	fr. c. » 20	fr. c. » 20	fr. c. » 20	fr. c. » 25	fr. c. » 25	fr. c. » 30	fr. c. » 35	fr. c. » 35
2. Ouverture de la tranchée.....	» 50	» 55	» 65	» 75	» 90	» 95	1 05	1 15	1 35	1 60	2 10	2 60	2 90
3. Dressement du fond	» 05	» 05	» 10	» 10	» 10	» 10	» 10	» 10	» 10	» 15	» 15	» 20	» 20
4. Façon des niches.	» 05	» 05	» 05	» 05	» 05	» 05	» 10	» 10	» 10	» 10	» 10	» 10	» 10
5. Transport du tuyau à pied-d'œuvre.	» 05	» 15	» 20	» 25	» 35	» 45	» 55	» 65	» 85	1 15	1 70	2 20	2 75
6. Rapprochage et descente du tuyau...	» 05	» 10	» 15	» 20	» 20	» 20	» 30	» 40	» 50	» 60	» 70	» 80	1 »
7. Mise en place ..	» 15	» 25	» 30	» 40	» 45	» 45	» 55	» 70	» 90	1 10	1 30	1 70	2 »
8. Plomb.....	» 30	» 50	» 90	1 00	1 25	1 05	1 35	1 40	1 65	2 10	2 75	3 25	3 60
9. Corde goudronnée..	» 05	» 10	» 15	» 20	» 25	» 20	» 25	» 30	» 35	» 40	» 50	» 55	» 60
10. Façon des joints.	» 15	» 35	» 45	» 60	» 75	» 75	» 85	» 90	1 00	1 10	1 30	1 50	1 70
11. Remblai et pilonnage	» 30	» 30	» 35	» 45	» 50	» 50	» 55	» 55	» 65	» 75	» 90	1 10	1 15
12. Premier pavage soigné de la tranchée, sans fourniture de sable, ou remise en place de l'empierrement, du vieux béton ou des dalles du trottoir.....	» 45	» 45	» 50	» 55	» 60	» 60	» 65	» 65	» 75	» 80	» 90	1 00	1 10
13. Transport des terres excédentes aux décharges publiques.	» 15	» 20	» 30	» 40	» 50	» 60	» 75	» 95	1 30	1 80	2 90	4 35	5 15
Prix du mètre linéaire..... .	2 40	3 20	4 25	5 15	6 10	6 10	7 25	8 05	9 75	11 90	15 60	19 70	22 60

	DIAMÈTRES DES TUYAUX												
	m 0.060	m 0.100	m 0.150	m 0.200	m 0.250	m 0.300	m 0.350	m 0.400	m 0.500	m 0.600	m 0.800	m 1.000	m 1.100
Pose en terre d'une conduite en fonte, à joints à emboîtements (à 1m,20 de profondeur moyenne mesurée entre le dessus de la conduite et le dessus du pavé ou du trottoir), toutes fournitures et main-d'œuvre comprises, la fourniture de la fonte et l'essai des tuyaux seuls exceptés.													
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
A déduire lorsqu'il n'y aura pas lieu à démontage de chaussée pavée, d'empierrement ou de trottoir dallé ou bitumé.....	» 40	» 40	» 45	» 50	» 55	» 55	» 60	» 60	» 65	» 70	» 80	» 90	» 95
Plus ou moins-value à ajouter ou à retrancher par mètre linéaire de tranchée et par décimètre de profondeur :													
De 1m,20 à 2m.....	» 09	» 09	» 11	» 12	» 14	» 14	» 14	» 15	» 17	» 19	» 22	» 24	» 26
Au delà de 2m.....	» 18	» 18	» 18	» 18	» 18	» 18	» 18	» 18	» 20	» 25	» 25	» 30	» 35
NOTA. — Lorsqu'il y aura lieu de compter l'une ou l'autre des deux plus-values ci-dessus, elle ne s'appliquera qu'à l'excédent lui-même sur les profondeurs normales de 1m,20 ou de 2m.													
Plus-value par mètre linéaire de conduites avec joints à bagues.....	» »	» 10	» 12	» 35	» 50	» 50	» 55	» 65	» 90	» 95	1 80	3 40	4 20
Plus-value par mètre linéaire de conduites posées avec démolition de chaussée empierrée.....	» 85	» 85	1 »	1 10	1 25	1 25	1 35	1 40	1 55	1 70	1 70	1 90	2 05
Pose sous galerie d'une conduite en fonte à joints à emboîtements ou à bagues													
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Transport du tuyau à pied-d'œuvre.	» 05	» 15	» 20	» 25	» 35	» 45	» 55	» 65	» 85	1 15	1 70	2 20	2 75
2. Descente dans la galerie.....	» 05	» 10	» 15	» 20	» 20	» 25	» 30	» 40	» 50	» 60	» 70	» 80	1 »
3. Mise en place du tuyau, compris son transport dans la galerie, du regard jusqu'au lieu d'emploi..	» 20	» 35	» 40	» 55	» 60	» 65	» 80	1 05	1 35	1 65	1 95	2 55	3 »
4. Plomb.....	» 30	» 50	» 90	1 »	1 25	1 05	1 35	1 40	1 65	2 10	2 75	3 25	3 60
5. Corde goudronnée	» 05	» 10	» 15	» 20	» 25	» 20	» 25	» 30	» 35	» 40	» 50	» 55	» 60
6. Façon des joints.	» 20	» 50	» 65	» 90	1 10	1 10	1 25	1 35	1 50	1 66	1 95	2 25	2 55
Prix du mètre linéaire de conduite en fonte à emboîtements posée sous galerie...	» 85	1 70	2 45	3 10	3 75	3 70	4 50	5 15	6 20	7 55	9 55	11 60	13 50
Plus-value à ajouter par mètre linéaire pour les conduites avec joints à bagues.	» »	» 10	» 12	» 35	» 50	» 50	» 55	» 65	» 90	» 95	1 80	3 40	4 20

	DIAMÈTRES DES TUYAUX												
	m 0.060	m 0.100	m 0.150	m 0.200	m 0.250	m 0.300	m 0.350	m 0.400	m 0.500	m 0.600	m 0.800	m 1.000	m 1.100
Plomb à compter pour un joint de tuyaux ;													
A emboîtement....	k. 1.100	k. 2.400	k. 4.400	k. 4.900	k. 6.100	k. 6.700	k. 8.850	k. 9.300	k. 11.000	k. 13.900	k. 18.400	k. 24.600	k. 24.000
A bague..... ..	»	»	2.800	4.900	7.150	9.400	10.700	13.200	15.450	18.900	22.300	35.600	31 000	60.000
Plus-value à allouer pour chaque pièce spéciale courbe ou autre, manchon ordinaire ou à tubulure, ou tuyau d'une longueur moindre de 1m,00, posée sur le cours d'une conduite (évaluée comme joint supplémentaire).													
Plus-value pour pièce spéciale, manchon, ou tuyau droit de moins de 1m,00 de longueur posé sur conduite en cours de pose.....	fr. c. 1 35	fr. c. 3 15	fr. c. 4 95	fr. c. 6 »	fr. c. 7 35	fr. c. 8 50	fr. c. 10 55	fr. c. 11 50	fr. c 13 40	fr. c. 16 05	fr. c. 20 25	fr. c. 23 90	fr. c. 26 60
Dépose d'une conduite en fonte placée en terre (à 1m,20 de profondeur mesurée entre le dessus de la conduite et le dessus du pavé ou du trottoir).													
1. Démontage de la chaussée pavée, empierrée ou du trottoir.	fr. c. » 05	fr. c. » 15	fr. c. » 15	fr. c. » 20	fr. c. » 20	fr. c. » 20	fr. c. » 20	fr. c. » 20	fr. c. » 25	fr. c. » 25	fr. c. » 30	tr. c. » 35	fr. c. » 35
2. Ouverture de la tranchée.....	» 50	» 55	» 65	» 75	» 90	» 95	1 05	1 15	1 35	1 60	2 10	2 60	2 90
3. Fonte des joints et extraction de la conduite.....	» 35	» 50	» 75	1 20	1 45	1 25	1 50	1 75	2 05	2 80	3 95	5 70	6 30
4. Remblai et pilonnage	» 30	» 30	» 35	» 45	» 50	» 50	» 55	» 55	» 65	» 75	» 90	1 10	1 15
5. Premier pavage soigné de la tranchée sans fourniture de sable, ou remise en place de l'empierrement, du béton ou des dalles du trottoir.	» 45	» 45	» 50	» 55	» 60	» 60	» 65	» 65	» 75	» 80	» 90	1 »	1 10
6. Nettoyage et grattage des tuyaux.....	» 05	» 10	» 15	» 20	» 30	» 35	» 40	» 45	» 50	» 60	» 80	1 »	1 20
7. Transport au dépôt et rangement....	» 05	» 15	» 20	» 25	» 35	» 45	» 55	» 65	» 85	1 15	1 70	2 20	2 75
Prix du mètre linéaire.....	1 85	2 20	2 75	3 60	4 30	4 90	5 40	6 40	7 95	10 65	13 95	15 75	
A déduire lorsqu'il n'y aura pas lieu à démontage de chaussée pavée, empierrée, ou de trottoir pavé, dallé ou bitumé	» 40	» 40	» 45	» 50	» 55	» 55	» 60	» 60	» 65	» 70	» 80	» 90	» 95
Plus ou moins-value à ajouter ou à retrancher par décimètre de profondeur de fouille :													
De 1m,20 à 2m	» 09	» 09	» 11	» 12	» 14	» 14	» 14	» 15	» 17	» 19	» 22	» 24	» 26
Au delà de 2m... .	» 18	» 18	» 18	» 18	» 18	» 18	» 18	» 18	» 20	» 25	» 25	» 30	» 35

	DIAMÈTRES DES TUYAUX												
	m 0.060	m 0.100	m 0 150	m 0.200	m 0.250	m 0.300	m 0.350	m 0.400	m 0.500	m 0.600	m 0.800	m 1.000	m 1.100
Dépose d'une conduite en fonte placée en terre (à 1m,20 de profondeur mesurée entre le dessus de la conduite et le dessus du pavé ou du trottoir).													
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
NOTA. — Voir à la pose.													
A déduire du décompte par mètre linéaire de dépose de conduite à emboitements (pour vieux plomb repris par l'entrepreneur)	» 15	» 25	» 45	» 50	» 60	» 50	» 65	» 70	» 80	1 »	1 35	1 60	1 75
A déduire du décompte par mètre linéaire de dépose de conduites à bagues (pour vieux plomb repris par l'entrepreneur et charbon non employé)..... ..	» »	» 50	» 85	1 35	1 90	1 55	1 80	2 05	2 45	3 10	4 80	7 20	8 15
Plus-value par mètre linéaire de conduites déposées, avec démolition de chaussée empierrée	» 85	» 85	1 »	1 10	1 25	1 25	1 35	1 40	1 55	1 70	1 70	1 90	2 05
NOTA. — Les anciennes conduites ou parties de conduites à joints à brides seront assimilées, pour prix de démontage, repris du plomb à forfait, etc., aux conduites à bagues des mêmes diamètres.													
Dépose de conduites en fonte placées sous galerie.													
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Démontage de la conduite et transport du tuyau au pied du regard	» 45	» 65	» 95	1 50	1 80	1 55	1 90	2 15	2 55	3 50	4 95	7 15	7 90
2. Sortie du tuyau.	» 05	» 10	» 15	» 20	» 20	» 25	» 30	» 40	» 50	» 60	» 70	» 80	1 »
3. Transport au dépôt et rangement....	» 05	» 15	» 20	» 25	» 35	» 45	» 55	» 65	» 85	1 15	1 70	2 20	2 75
4. Nettoyage et grattage du tuyau...	» 05	» 10	» 15	» 20	» 30	» 35	» 40	» 45	» 50	» 60	» 80	1 »	1 20
Prix du mètre linéaire de dépose de conduites sous galerie.	» 60	1 »	1 45	2 15	2 65	2 60	3 15	3 65	4 40	5 85	8 15	11 15	12 85
A déduire du décompte par mètre linéaire de dépose de conduites à emboitements (pour vieux plomb repris par l'entrepreneur).....	» 15	» 25	» 45	» 50	» 60	» 50	» 65	» 70	» 80	1 »	1 35	1 40	1 75

	DIAMÈTRES DES TUYAUX												
	m 0.060	m 0.100	m 0.150	m 0.200	m 0.250	m 0.300	m 0.350	m 0.400	m 0.500	m 0.600	m 0.800	m 1.000	m 1.100
Dépose de conduites en fonte placées sous galerie.													
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
A déduire du décompte par mètre linéaire de dépose de conduites à bagues (pour vieux plomb repris par l'entrepreneur et charbon non employé).....	» »	» 50	» 85	1 35	1 90	1 55	1 80	2 05	2 45	3 10	4 80	7 20	8 15
Fourniture et pose d'une plaque pleine.													
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c	fr. c.	fr. c.
1. Plaque pleine en tôle.....	2 »	3 15	4 70	6 35	8 45	15 80	19 60	24 25	32 15	42 75	68 50	98 65	115 75
2. Boulons.....	» 40	» 95	1 45	1 55	1 55	2 95	3 35	3 70	5 95	6 95	11 75	16 15	17 65
3. Rondelle en plomb.....	» 85	1 90	2 25	3 90	4 90	6 40	7 15	7 90	10 15	12 »	16 90	18 75	21 »
4. Façon du joint..	1 05	1 20	1 50	2 10	3 50	2 75	3 40	3 75	4 25	4 90	5 65	7 05	8 80
Prix d'une plaque pleine fournie et posée.....	4 30	7 20	9 90	13 90	18 40	27 90	33 50	39 60	52 50	66 60	102 80	140 60	163 20

NOTA. — Les plaques pleines seront en tôle de 0m,010 jusqu'au diamètre de 0m,25 inclusivement et de 0m,014 d'épaisseur au-dessus.

Pose de robinets-vannes.

	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Transport du robinet.....	2 »	2 »	3 »	5 50	5 50	5 50	5 50	10 50	21 »	30 »	45 »	60 »
2. Descente dans le regard et transport au lieu d'emploi	» 60	1 »	1 90	2 40	2 50	2 90	4 »	6 30	12 »	20 »	65 »	85 »
3. Mise en place ..	» 40	» 60	1 »	1 30	1 50	1 80	2 »	2 50	3 »	5 »	10 »	15 »
4. Rondelles en plomb.....	3 75	4 50	7 80	9 75	12 75	14 25	15 75	20 25	24 »	33 75	37 50	42 »
5. Boulons.....	1 90	2 85	3 05	3 05	5 90	6 65	7 40	11 90	13 85	23 50	32 35	35 30
6. Façon des joints.	2 35	3 05	4 25	5 »	5 45	6 80	7 55	8 55	9 75	11 25	14 15	17 70
Prix du robinet mis en place.....	11 »	14 »	21 »	27 »	33 60	37 90	42 20	60 »	83 60	123 50	201 »	255 »

NOTA. — On tiendra compte à l'entrepreneur, s'il y a lieu :

1. De la fourniture et pose de bouche à clef en fonte avec ou sans tabernacle, suivant le cas ;
2. Des percements et raccords de maçonnerie ;
3. Du percement de la conduite pour les robinets montés sur colliers, des coupements pour pose des manchons à tubulure, etc., ou pour pose de robinets d'arrêt.

Pose d'un manchon ordinaire ou à tubulure sur une conduite déjà en service.

	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. e.	fr. c	fr. c.	fr. c.
1. Transport du manchon..... (Assimilation à 1m linéaire de tuyau)	» 05	» 15	» 20	» 25	» 35	45	» 55	» 65	» 85	1 15	1 70	2 25	2 75
2. Rapprochage du manchon..... (Id. Id.)	» 05	» 10	» 15	» 20	» 20	» 20	» 30	» 40	» 50	» 60	» 70	» 80	1 »

	DIAMÈTRES DES TUYAUX												
	m 0.060	m 0.100	m 0.150	m 0.200	m 0.250	m 0.300	m 0.350	m 0.400	m 0.500	m 0.600	m 0.800	m 1.000	m 1.100
Pose d'un manchon ordinaire ou à tubulure sur une conduite déjà en service.													
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr c.	fr. c.	fr. c.
3. Mise en place du manchon.....	» 15	» 25	» 30	» 40	» 45	» 45	» 55	» 70	» 90	1 10	1 30	1 70	2 »
(Id. Id.)													
4. Plomb pour deux joints à emboîtement.	1 30	2 90	5 40	6 »	7.40	8 10	10 60	11 20	13 20	16 70	22 10	26 »	28 80
5. Corde goudronnée pour deux joints à emboîtement.....	» 20	» 60	» 90	1 20	1 50	1 60	2 00	2 40	2 80	3 20	4 »	4 40	4 80
6. Façon de deux joints à emboîtement.....	» 80	2 10	2 70	3 60	4 50	6 »	6 80	7 20	8 »	8 80	10 40	12 40	13 60
Prix de la pose d'un manchon ordinaire ou à tubulure sur conduite en service.....	2 55	6 10	9 65	11 65	14 40	16 80	20 80	22 55	26 25	31 55	40 20	47 50	52 95

NOTA. — Les prix ci-dessus ne s'appliqueront qu'aux manchons posés après coup sur les anciennes conduites.

Observation. — Le travail de dépose, repose et coupement du tuyau qu'il faudra démonter pour passer le manchon sera payé à part.

Lorsque les manchons à placer sur les anciennes conduites seront transportés isolément sans aucune autre pièce de fonte, il sera ajouté aux prix ci-dessus, comme plus-value :

Pour manchon de 0m054 à 0m150	1 »
— de 0m200 à 0m325	1.25
— de 0m350 à 0m500	2 »
— de 0m600 à 1m100	2.25

	DIAMÈTRES DES TUYAUX												
	m 0.010	m 0.013	m 0.016	m 0.020	m 0.025	m 0.027	m 0.030	m 0.035	m 0.040	m 0 050	m 0.055	m 0.060	m 0.081	m 0.100
Fourniture et pose en terre de conduites en plomb, à 1m,20 de profondeur moyenne mesurée entre le dessus de la conduite et le dessus du pavé ou du trottoir.														
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Démontage de la chaussée pavée, empierrée, ou du trottoir.....	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12
2. Fouille et jet sur berge..	» 40	» 40	» 40	» 40	» 40	» 40	» 40	» 41	» 41	» 41	» 42	» 42	» 42	» 43
3. Dressement du fond de la tranchée.....	» 05	» 05	» 05	» 05	» 05	» 05	» 05	» 05	» 05	» 05	» 05	» 05	» 05	» 05
4. Fourniture du plomb.....	1.05	1.90	2 25	4 30	5 »	6 30	6 95	7 40	8 85	10 50	11 50	12 75	16 31	22 30
5. Main-d'œuvre de pose du plomb (compris un nœud par														

Fourniture et pose en terre de conduites en plomb, à 1m.20 de profondeur moyenne mesurée entre le dessus de la conduite et le dessus du pavé ou du trottoir.

	DIAMÈTRES DES TUYAUX													
	m 0.010	m 0.013	m 0.016	m 0.020	m 0.025	m 0.027	m 0.030	m 0.035	m 0.040	m 0.050	m 0.055	m 0.060	m 0.081	m 0.100
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
10m jusqu'à 0m,050 et par 4m au delà)	» 20	» 20	» 25	» 34	» 43	» 43	» 53	» 57	» 66	» 96	1 50	1 74	2 76	2 95
6. Remblai et pilonnage	» 22	» 22	» 22	» 22	» 23	» 23	» 23	» 23	» 23	» 23	» 23	» 23	» 24	» 24
7. Transport aux décharges des terres excédentes	» 11	» 11	» 11	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 13	» 13	» 13	» 14	» 15	» 16
8. Premier pavage soigné, sans fourniture de sable, ou remise en place de l'empierrement, du vieux béton ou des dalles du trottoir	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35
Prix du mètre linéaire posé à 1m,20 de profondeur	2 50	3 35	3 75	5 90	6 70	8 »	8 75	9 75	10 80	12 75	14 30	15 80	20 40	26 60
Plus ou moins value à ajouter ou à retrancher par mètre linéaire de tranchée et par décimètre de profondeur de fouille :														
De 1m,20 à 2m.	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08
De 2m à 4m (compris élargissement de la fouille pour l'établissement d'une banquette)	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17
A déduire lorsqu'il n'y aura pas lieu à démontage de chaussée pavée, empierrée, ou de trottoir dallé ou bitumé	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35
Plus-value à ajouter par mètre courant de conduites posées avec démolition de chaussée empierrée	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70

NOTA. — Les tuyaux en plomb de 0.010 devront avoir 0m.003 d'épaisseur.
— de 0.013 à 0.016 — 0m.004 —
— de 0.020 à 0.025 — 0m.006 —
— de 0.027 à 0.100 — 0m.007 —

	DIAMÈTRES DES TUYAUX													
	m 0.010	m 0.013	m 0.016	m 0.020	m 0.025	m 0.027	m 0.030	m 0.035	m 0.040	m 0.050	m 0.055	m 0.060	m 0.081	m 0 100
Poids du mètre linéaire de conduites en plomb.														
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Poids du mètre linéaire des conduites en plomb.....	1 40	2 53	3 »	5 73	6 68	8 40	9 27	10 53	11 80	14 »	15 33	17 »	25 75	29 73
Fourniture et pose sous galerie de conduites en plomb.														
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Fourniture du plomb.....	1 05	1 90	2 25	4 30	5 »	6 30	6 95	7 90	8 85	10 50	11 50	12 75	16 31	22 30
2. Descente dans la galerie.	» 03	» 03	» 03	» 04	» 05	» 05	» 07	» 08	» 10	» 15	» 15	» 18	» 25	» 30
3. Mise en place, compris fourniture de crochets (compris un nœud de soudure par 10m jusqu'à 0m,050 et par 4m au delà) et toute main-d'œuvre..	» 27	» 32	» 37	» 46	» 55	» 60	» 68	» 77	» 90	1 15	1 80	2 07	2 84	3 40
Prix du mètre linéaire de conduites en plomb posées sous galerie.....	1 35	2 25	2 65	4 80	5 60	6 95	7 70	8 75	9 85	11 80	13 45	15 »	19 40	26 »
Joints à brides pour tuyaux en plomb.														
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Brides en fer et leurs boulons.....	» 50	» 55	» 60	» 65	» 75	» 80	» 85	» 90	» 95	1 05	1 15	5 70	5 95	9 90
2. Collets battus.....	» »	» »	» 60	» 60	» 70	» 70	» 70	» 80	» 90	1 »	1 10	1 20	1 45	1 70
3. Rondelles en cuir gras...	» 20	» 20	» 20	» 20	» 20	» 20	» 22	» 22	» 24	» 30	» 30	» 40	» 50	» 65
4. Façon	» »	» »	» 80	» 90	» 95	1 »	1 05	1 10	1 15	1 30	1 40	1 45	1 75	2 05
Prix de joints à brides sur tuyaux en plomb, fourniture et main-d'œuvre comprise	» 70	» 75	2 20	2 35	2 60	2 70	2 82	3 02	3 24	3 65	3 95	8 75	9 65	14 30
Dépose de conduites en plomb placées en terre.														
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Démontage de chaussée pavée, empierrée ou de trottoir..	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12	» 12
2. Fouille et jet sur berge.	» 40	» 40	» 40	» 40	» 40	» 40	» 40	» 41	» 41	» 41	» 42	» 42	» 42	» 43
3. Extraction de la conduite..	» 10	» 15	» 15	» 20	» 23	» 27	» 30	» 34	» 39	» 48	» 57	» 61	» 80	1 »
4. Transport et rangement au dépôt.....	» 05	» 05	» 05	» 06	» 07	» 08	» 09	» 10	» 11	» 12	» 13	» 14	» 15	» 16
5. Remblai et pilonnage.....	» 22	» 22	» 22	» 22	» 23	» 23	» 23	» 23	» 23	» 23	» 23	» 24	» 24	

	DIAMÈTRES DES TUYAUX													
	m 0.010	m 0.013	m 0.016	m 0.020	m 0.025	m 0.027	m 0.030	m 0.035	m 0.040	m 0.050	m 0.055	m 0.060	m 0.081	m 0.100
Dépose de conduites en plomb placées en terre.														
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
6. Transport aux décharges des terres excédentes.....	» 11	» 11	» 11	» 10	» 10	» 10	» 10	» 09	» 09	» 09	» 08	» 08	» 07	» 05
7. Premier pavage soigné, sans fourniture de sable, ou remise en place de l'empierrement, du vieux béton ou des dalles de trottoir.....	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35
Prix du mètre linéaire de plomb déposé à 1m,20 de profondeur.....	1 35	1 40	1 40	1 45	1 50	1 55	1 60	1 65	1 70	1 80	1 90	1 95	2 15	2 35
Plus ou moins-value à ajouter ou à retrancher par décimètre de profondeur de fouille :														
De 1m,20 à 2m.	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08	» 08
De 2m à 4m	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17	» 17
A déduire lorsqu'il n'y aura pas lieu à démontage de chaussée pavée, empierrée, ou de trottoir dallé ou bitumé.....	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35	» 35
Plus-value à ajouter par mètre courant de conduites déposées avec démolition de chaussée empierrée.	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70	» 70
Dépose sous galerie de conduites en plomb.														
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1. Dépose du plomb et mise en couronne...	» 17	» 17	» 17	» 20	» 23	» 27	» 29	» 32	» 34	» 35	» 37	» 38	» 40	» 54
2. Sortie de la galerie.....	» 03	» 03	» 03	» 04	» 05	» 05	» 07	» 08	» 10	» 13	» 15	» 18	» 25	» 30
3. Transport au dépôt et rangement.....	» 05	» 05	» 05	» 06	» 07	» 08	» 09	» 10	» 11	» 12	» 13	» 14	» 15	» 16
Prix du mètre linéaire de conduites en plomb déposées sous galerie.....	» 25	» 25	» 25	» 30	» 35	» 40	» 45	» 50	» 55	» 60	» 65	» 70	» 80	1 »

La présente série de prix, dressée, etc.

Paris le 16 mars 1883

VIII

REGIE DES EAUX DE PARIS

ADJUDICATION EN TROIS LOTS DES TRAVAUX D'EMBRANCHEMENT SUR LA CONDUITE PUBLIQUE, A EXÉCUTER AU COMPTE DES ABONNÉS DU 1er JANVIER AU 31 DÉCEMBRE 1888.

CAHIER DES CHARGES

ART. 1er. — L'entreprise à pour objet l'exécution et la réparation, aux frais des abonnés, des travaux d'embranchement sur la conduite publique....

Savoir :

1° Jusqu'au réservoir, dans le cas de distribution à la jauge ;

2° Jusqu'au compteur, dans le cas d'abonnement au compteur, y compris le robinet d'arrêt en amont de cet appareil ;

3° Jusqu'au mur de face de la propriété, avec un prolongement de 0m,50 dans l'intérieur, dans le cas d'abonnement par colonne montante.

. . . . . .

ART. 10. — Les travaux seront exécutés aux prix de la série d'entretien de la fontainerie de la ville de Paris [1], complétée par la série annexe spéciale jointe au présent.

. . . . . .

Dressé et présenté.....

Paris, le 11 novembre 1887.

SÉRIE COMPLÉMENTAIRE

Dessus de tabernacle en fonte à un trou, fourni et posé, pour tuyaux de :

	fr.	c.
0,020	2	»
0,027	2	50
0,040	3	»
0,055	4	»
0,060	5	»

1. Annexe VII.

Dessous de tabernacle en fonte à un trou, fourni et posé, pour tuyaux de :

	fr.	c.
0,020	1	»
0,027	1	80
0,040	2	50
0,055	3	»
0,060	4	»

Dessus de tabernacle en fonte à deux trous, fourni et posé, pour tuyaux de :

	fr.	c.
0,020	4	»
0,027	4	25
0,040	5	»
0,055	6	»
0,060	7	»

Dessous de tabernacle en fonte à deux trous, fourni et posé, pour tuyaux de :

	fr.	c.
0,020	1	50
0,027	2	»
0,040	3	»
0,055	4	»
0,060	5	»

Main-d'œuvre pour pose de tabernacle de bouche à clef (compris dépose s'il y a lieu) ..... 1 »

Relèvement ou repose de bouche à clef ..... 3 »

Le mètre courant de *fourreau en fer, de* 0m,04 *de diamètre*, fourni et posé ..... 2 »

Le mètre courant de *fourreau en fonte, de* 0m,06 *de diamètre*, fourni et posé ..... 3 »

Le mètre courant de *fourreau en fonte, de* 0m,08 *de diamètre*, fourni et posé ..... 4 »

Robinet de jauge de 0m,020 *à trois clefs et cadenas*, fourni et posé.. 25 »

Fourniture et pose de *rondelles en bronze pour plaques d'arrêts de robinets de :*

	fr	c.
0,020	»	60
0,027	»	90
0,040	1	25
0,055	2	»
0,060	3	»
0,080	4	»

Le mètre courant de *pose en terre de conduite en fonte* à joints à emboîtements, *diamètre de* 0m,030 ou 0m,040, fourniture de fonte payée à part :

	fr.	c.	fr.	c.
1. Démontage de chaussée pavée ou empierrée ou de trottoir. .	»	15		
2. Ouverture de la tranchée	»	50		
3. Dressement du fond	»	05		
4. Façon des niches	»	05		
5. Transport du tuyau à pied d'œuvre	»	02		
6. Rapprochage et descente du tuyau	»	05		

7. Mise en place	» 40	
8. Plomb	» 15	
9. Corde goudronnée	» 03	
10. Façon des joints	» 10	
11. Remblai et pilonnage	» 30	
12. Premier pavage soigné sans fourniture de sable, ou remise en place de l'empierrement, du vieux béton ou des dalles du trottoir	» 45	
13. Transport des terres excédentes aux décharges publiques	» 10	
PRIX TOTAL	—	2 05

A déduire, par mètre courant, lorsqu'il n'y aura pas lieu à démontage de chaussée pavée, d'empierrement ou de trottoir dallé ou bitumé (pour les diamètres ci-dessus) . . . . . » 40

Plus ou moins-value à ajouter ou à retrancher par mètre linéaire de tranchée et par décimètre de profondeur (pour les diamètres ci-dessus) :

	fr. c.
De 1m,20 à 2 mètres	» 09
Au delà de 2 mètres de profondeur	» 18

Plus-value par mètre linéaire des conduites ci-dessus posées avec démolition de chaussée empierrée . . . . . » 85

Le mètre courant de *dépose d'une conduite en fonte* placée en terre à 1m,20 de profondeur mesurée entre le dessus de la conduite et le dessus du pavé ou du trottoir, pour diamètre de 0m,030 ou 0m,040 :

	fr. c.	fr. c.
1. Démontage de la chaussée ou du trottoir	» 05	
2. Ouverture de la tranchée	» 40	
3. Fonte des joints et extraction de la conduite	» 30	
4. Remblai et pilonnage	» 25	
5. Premier pavage soigné de la tranchée sans fourniture de sable, ou remise en place de l'empierrement, du béton ou des dalles du trottoir	» 40	
6. Nettoyage et grattage des tuyaux	» 03	
7. Transport au dépôt et rangement	» 02	
PRIX TOTAL	—	1 45

A déduire, lorsqu'il n'y aura pas lieu à démontage de chaussée pavée ou empierrée ou de trottoir pavé, dallé ou bitumé . . . . . » 40

Plus ou moins-value à ajouter ou à retrancher par décimètre de profondeur :

	fr. c.
De 1m,20 à 2 mètres	» 09
Au delà de 2 mètres de profondeur	» 18

A déduire du décompte, par mètre linéaire de dépose de conduites de 0m,03 ou 0m,04 à emboîtements, pour vieux plomb repris . . . . . » 10

Plus-value par mètre linéaire de conduites de 0m,03 et 0m,04 déposées avec démolition de chaussée empierrée . . . . . » 85

Le mètre courant de *pose sous galerie de conduite en fonte* de 0m,03 ou de 0m,04 à joints à emboîtement (fonte payée à part) :

	fr. c.	fr. c.
1. Transport du tuyau à pied d'œuvre	» 03	
2. Descente dans la galerie	» 02	
3. Mise en place du tuyau, compris son transport dans la galerie du regard jusqu'au lieu d'emploi	» 10	
4. Plomb	» 15	
5. Corde goudronnée	» 03	
6. Façon des joints	» 17	
PRIX TOTAL	——	» 50

Le mètre courant de *dépose de conduites en fonte de* 0m,03 *ou* 0m,04 *placées sous galerie :*

	fr. c.	fr. c.
1. Démontage de la conduite et transport du tuyau au pied du regard	» 30	
2. Sortie du tuyau	» 03	
3. Transport au dépôt et rangement	» 02	
4. Nettoyage et grattage du tuyau	» 05	
PRIX TOTAL	——	» 40
A déduire du décompte, par mètre linéaire de conduites de 0m,03 ou 0m,04 de diamètre à emboîtements, pour vieux plomb repris		» 10

Fourniture et pose d'une plaque pleine sur conduite en fonte de 0m,03 ou 0m,04 de diamètre:

	fr. c.	fr. c.
1. Plaque pleine en tôle	1 »	
2. Boulons	» 30	
3. Rondelles en plomb	» 45	
4. Façon du joint	» 80	
PRIX TOTAL	——	2 55
Dépose d'une plaque pleine sur conduites en fonte de 0m,03 ou 0m,04.		» 35
Poids de plomb à compter pour un joint de tuyaux en fonte de 0m,03 ou 0m,04		0k,700

Pose d'un manchon ordinaire ou à tubulure sur une conduite en fonte de 0m,03 ou 0m,04 déjà en service:

	fr. c.	fr. c.
1. Transport du manchon	» 05	
2. Rapprochage du manchon	» 05	
3. Mise en place	» 10	
4. Plomb pour deux joints à emboîtement	» 55	
5. Corde goudronnée	» 15	
6. Façon de deux joints à emboîtement	» 60	
PRIX TOTAL	——	1 50
Plus-value pour chaque pièce spéciale, courbe ou autre, manchon ordinaire ou à tubulure ou tuyau d'une longueur moindre de 1 mètre, posée sur le cours d'une conduite en fonte de 0m,03 ou 0m,04 de diamètre		» 80

Percement et raccord d'un mur de face de maison de toute épaisseur, et quelle que soit la nature des matériaux, pour passage de tuyaux et fourreaux de tous diamètres, l'unité..... 8 »

Percement de voûte ou mur intérieur de toutes natures de matériaux pour passage de tuyaux et fourreaux de tous diamètres, raccords compris, jusqu'à $0^m,50$ d'épaisseur..... 4 »

Pour chaque décimètre en sus..... 1 »

Le mètre linéaire d'*entaille dans la maçonnerie* de pierre de taille ou de meulière, jusqu'à $0^m,10$ de profondeur, pour passage de tuyaux et fourreaux de tous diamètres..... 4 »

Le même travail dans la maçonnerie de moellons ou plâtre..... 2 »

Percement de cloison ou plancher en plâtre, briques ou bois, pour passage de tuyaux et fourreaux de tous diamètres, raccords compris, l'unité..... 1 50

Le mètre linéaire de *dépose de bordures en granit*, droites ou courbes, compris bardage à 20 mètres s'il y a lieu et rangement..... » 30

Le mètre superficiel de *dépose soignée de dalles en granit*, compris bardage et rangement..... » 30

Le mètre linéaire de *dépose de bordures de trottoir en grès, pierre ou pavés*, compris transport à 20 mètres s'il y a lieu et rangement..... » 15

La *remise en place provisoire des bordures et dallage*, après achèvement, sera payée le double du prix de la dépose.

Le mètre courant de *réfection définitive des bordures* ci-dessus, y compris couche de béton de fondation, sera payé :

	fr.	c.
En granit.....	2	50
En grès ou pierre.....	1	50

Le mètre superficiel de *réfection définitive de dallage en granit*, compris béton, sera payé..... 3 »

Le mètre superficiel de *démolition de chaussée en asphalte comprimé*, y compris la couche de fondation et rangement, sera payé..... 1 »

Le mètre superficiel de *réfection de dallage de trottoir en bitume*, béton compris, sera payé..... 7 »

Le mètre superficiel de *réfection de dallage en asphalte comprimé*, béton compris, sera payée..... 13 »

Le mètre superficiel de *rétablissement de chaussée d'empierrement* avec les vieux matériaux et pilonnage, sera payé..... » 25

La *journée d'un bitumeur avec aide et outillage*, y compris voiture et chauffage, sera payée..... 13 50

Le mètre linéaire de *joints en bitume*, compris fournitures et main-d'œuvre, sera payé..... 1 »

Dressé et présenté.....

Paris, le 11 novembre 1887.

IX

DIRECTION DES TRAVAUX DE PARIS

COMPTEURS D'EAU

ARRÊTÉ RÉGLEMENTAIRE

TITRE PREMIER.

Conditions de principe auxquelles doivent satisfaire les appareils.

Article Premier. — Aucun compteur à eau, neuf ou réparé, ne pourra être mis en service à Paris, sans avoir été, au point de vue de son exactitude et de sa bonne confection, vérifié par les agents de l'Administration et revêtu par eux du poinçonnage municipal.

Art. 2. — Ne seront admis au poinçonnage que les compteurs d'un système autorisé à titre définitif ou provisoire.

Art. 3. — Ils devront résister et se maintenir étanches sous une pression intérieure de 15 atmosphères et fonctionner régulièrement et d'une manière continue sous toute pression comprise entre 1 mètre et 7 atmosphères.

Art. 4. — Les compteurs des différents débits devront pouvoir fonctionner régulièrement avec les écoulements suivants :

Ceux d'un débit n'excédant pas		3.000	litres	d'eau, avec 2	litres à l'heure.
—	—	5.000	—	3	—
—	—	10.000	—	4	—
—	—	20.000	—	6	—
—	—	30.000	—	8	—
—	—	60.000	—	12	—
—	—	120.000	—	15	—

Par débit d'un compteur, il faut entendre la plus grande quantité d'eau que le compteur puisse fournir à l'heure, d'une manière régulière et permanente, sous une pression de 3 atmosphères.

Art. 5. — Néanmoins, pour ces petits débits et en général pour ceux inférieurs à un litre par minute, débits d'épreuve, qui ne correspondent à aucun puisage usuel, il sera accordé une tolérance en plus ou en moins. Cette tolérance sera de 20 0/0 jusqu'à un débit de demi-litre par minute, et de 10 0/0 au-dessus.

Art. 6. — Tout puisage atteignant un litre par minute devra être enregistré à 8 0/0 près par les compteurs dont le débit, tel qu'il est défini par l'article 4, ne dépasse pas 3,000 litres à l'heure, et la tolérance n'existera qu'en faveur de l'abonné; c'est-à-dire que le débit enregistré ne pourra être inférieur que de 8/100 au débit réel et ne devra en aucun cas lui être supérieur.

Les compteurs capables de débiter plus de 3,000 litres à l'heure ne seront tenus au même degré d'exactitude que pour les écoulements atteignant 2 0/0 de leur débit.

Art. 7. — Lorsqu'il sera constaté, soit que la tolérance est dépassée au détriment de la Ville, soit, au contraire, qu'il y a un écart au détriment de l'abonné, le compteur sera immédiatement changé.

Mais, ni dans un cas ni dans l'autre, il n'y aura lieu à répétition d'une des parties vis-à-vis de l'autre, chacune d'elles ayant à tout moment le droit de provoquer la vérification du compteur, et par conséquent ne pouvant s'en prendre qu'à elle, si elle a laissé se prolonger une erreur à son détriment.

TITRE II.

Conditions imposées aux fournisseurs de compteurs.

Art. 8. — Les fabricants qui, sous réserve des droits des inventeurs à l'égard des appareils brevetés, voudront entreprendre la construction, la vente et la location d'un ou plusieurs types de compteurs admis par la Ville, devront produire à la Direction des Travaux de Paris :

1° Un certificat de l'Ingénieur en chef du Service municipal des Eaux, constatant qu'ils ont, dans Paris, un atelier convenablement organisé pour la fabrication effective des compteurs ;

2° Un engagement de soumettre leur fabrication au contrôle permanent des agents du service ; de porter leurs appareils à l'atelier municipal d'essai et de poinçonnage ; enfin, de satisfaire à toutes les conditions stipulées ci-après ;

3° Un certificat constatant le versement opéré par eux à la Caisse municipale, d'un cautionnement de 5.000 francs, soit en numéraire, soit en rentes sur l'Etat ou obligations de la Ville de Paris, au porteur et au cours du jour.

ART. 9. — Chaque appareil devra porter d'une manière très apparente les indications suivantes :

Nom et demeure du fabricant ;

Débit à l'heure et sous une pression de 3 atmosphères ;

Numéro du compteur et année de sa fabrication.

ART. 10. — Aucun compteur ne pourra être posé qu'après déclaration du fabricant au bureau de l'Ingénieur en chef des Eaux. Cette déclaration, préalablement visée par le Directeur de la Compagnie des Eaux, qui y inscrira le numéro de la police souscrite, devra indiquer si l'appareil est fourni en location ou vendu à l'abonné.

ART. 11. — Dans le cas de location, le fabricant restera responsable du bon fonctionnement du compteur, sans préjudice des responsabilités qui incombent également à l'abonné au terme du règlement.

Lorsqu'un dérangement sera signalé au fournisseur de l'appareil, la réparation, si elle peut avoir lieu sur place, ou, dans le cas contraire, le remplacement du compteur par un autre, devront avoir lieu dans les vingt-quatre heures du signalement.

La Compagnie générale des Eaux et l'Ingénieur en chef du Service municipal des Eaux devront d'ailleurs en être avisés et mis à même de constater contradictoirement, avec l'abonné, que les indications du compteur ne sont pas altérées, ou, en cas de mutation, sont reproduites sur l'appareil nouveau.

ART. 12. — Si, le délai de vingt-quatre heures expiré, la réparation n'est pas faite, l'Administration aura le droit, sans autre formalité, de remplacer d'office l'appareil défectueux par un autre en bon état pris chez le fabricant, ou, en cas de refus de sa part, par un appareil différent acheté ailleurs.

Les dépenses effectuées à cet effet seront recouvrées sur le fabricant d'après état régulièrement approuvé, et, en cas de refus de payement, prélevées sur le cautionnement.

ART. 13. — Si le compteur est vendu à l'abonné, la responsabilité du fabricant vis-à-vis de l'Administration sera limitée à un an, à partir du jour de la mise en service de l'appareil, constatée par les Agents du service des Eaux.

Passé ce délai, l'abonné restera seul responsable, vis-à-vis de la Ville, de la marche du compteur.

Art. 14. — Tout compteur enlevé pour réparation ne devra être remis en service qu'après avoir été ramené à zéro et soumis à une nouvelle vérification et à un second poinçonnage.

Art. 15. — D'autre part, les fabricants seront tenus de ne placer qu'à Paris les appareils soumis au poinçonnage de la Ville. Ils devront, dans les quinze jours qui suivront chaque trimestre, fournir à l'Administration un état de situation indiquant où se trouvent les appareils présentés par eux au poinçonnage dans le trimestre précédent.

L'Administration sera libre d'interrompre les épreuves, lorsqu'elle jugera suffisant l'écart entre le nombre des appareils poinçonnés et le nombre de ceux mis en service.

Art. 16. — L'autorisation de fournir des compteurs pourra être retirée, par arrêté préfectoral, à tout fabricant qui ne se conformerait pas aux diverses conditions indiquées ci-dessus, ou dont les produits ne feraient pas habituellement un bon usage, ou qui, enfin, ne compléterait pas son cautionnement dans le délai d'un mois, lorsque l'application de l'article 12 ou toute autre cause l'auront diminué de mille francs.

TITRE III.

Dispositions transitoires.

Art. 17. — Les systèmes de compteurs admis jusqu'à nouvel ordre par la Ville de Paris sont les suivants :

Compteurs à 1 cylindre, système Kennedy[1].
» 2 » » Frager.
» 3 » » Desplechin-Mathelin[2].
» 4 » » Samain[3].
([4]).

Aucun changement ne devra être apporté aux dispositions actuelles de ces appareils, sans l'autorisation du Service des Eaux.

Art. 18. — Les compteurs, de quelque système qu'ils soient, en service à la date du présent arrêté, seront tolérés et pourront être

1. Ce classement, basé sur le nombre de cylindres des appareils, n'implique aucun ordre de priorité en ce qui concerne le mérite des systèmes.
2. Le concessionnaire du compteur Desplechin-Mathelin a renoncé à l'exploitation de ce compteur à Paris.
3. Le compteur Samain a été abandonné. Repris et modifié par M. Badois, il a été l'objet d'une autorisation limitée.
4. Ont été admis depuis :
Le compteur Frost-Tavenet à 1 cylindre. (Arrêté du 15 février 1886.)
Le compteur Kern (système Kennedy) à 1 cylindre. (Arrêté du 28 mai 1886.)

réparés jusqu'à ce qu'ils soient reconnus hors d'état de fonctionner régulièrement.

L'identité de ces compteurs sera constatée par un poinçonnage spécial qui devra rester intact, pour assurer au compteur le bénéfice de cette disposition.

Néanmoins, tout compteur qui laisserait passer 30 litres à l'heure sans enregistrement devra être immédiatement remplacé par un compteur d'un des systèmes indiqués ci-dessus comme admis.

Art. 19. — Parmi les autres systèmes actuellement à l'essai dans les ateliers de la Ville ou qui y seront mis, ceux qui seront reconnus satisfaisants, au fur et à mesure que ces essais se compléteront, feront l'objet d'arrêtés ultérieurs d'admission.

Réciproquement, ceux des systèmes provisoirement admis contre lesquels la pratique viendrait à prononcer seraient frappés du retrait d'autorisation.

Dans ce cas, la pose ne pourrait en être continuée; mais ceux en service avant le retrait d'autorisation seraient provisoirement conservés dans les conditions et sous les réserves indiquées à l'article 18 ci-dessus.

15 octobre 1880.

X

EAUX DE PARIS

RÈGLEMENT
SUR LES ABONNEMENTS AUX EAUX

DU 25 JUILLET 1880.

§ 1er.

Modes d'abonnements.

ARTICLE PREMIER. — *Forme des abonnements.* — Les abonnements partent des 1er janvier, 1er avril, 1er juillet et 1er octobre de chaque année.

La durée est d'une année pour les abonnements jaugés ou au compteur et de trois mois pour les abonnements d'appartements.

ART. 2. — *Mode de délivrance des eaux.* — Le mode de délivrance des eaux sera appliqué par la Compagnie, selon les circonstances spéciales au service qu'il s'agira d'établir. Il aura lieu d'après l'un des systèmes suivants :

1° Par écoulement constant ou intermittent, régulier ou irrégulier, réglé par un robinet de jauge dont les agents de la Compagnie auront seuls la clé. Dans ce mode de livraison, les eaux seront reçues dans un réservoir dont la hauteur sera indiquée par les agents de la Compagnie et déversées par un robinet muni d'un flotteur ;

2° Par estimation et sans jaugeage. Ce mode de distribution n'est applicable d'une manière générale qu'aux eaux de sources et autres assimilées ;

3° Par compteur.

ART. 3. — *Abonnements à robinet libre.* — Les abonnements en eaux de sources à robinet libre ne sont accordés que pour l'alimentation des appartements habités bourgeoisement. Ces abonnements, destinés uniquement aux usages domestiques, ne sont pas applicables aux appar-

tements dans lesquels s'exerce un commerce ou une industrie donnant lieu à l'emploi de l'eau.

Art. 4. — *Tarif des abonnements à robinet libre.* — Le tarif de ces abonnements d'appartement sera réglé de la manière suivante :

Un seul robinet établi au-dessus de la pierre d'évier dans un appartement habité par 1, 2 ou 3 personnes.	16	fr. 20	c. par an.
Par chaque personne en plus	4	»	—
Pour chaque robinet supplémentaire que l'abonné voudra placer dans les appartements :			
Dans les cabinets d'aisances.	4	»	—
Dans les salles de bain	12	»	—
Dans les salles de douches	9	»	—
Dans les autres parties de l'appartement	6	»	—

Lorsqu'il y aura, dans les appartements abonnés, des employés ou ouvriers y travaillant, mais ne logeant pas, il sera payé pour chaque personne de cette catégorie un supplément de 0 fr. 60 c. par an.

Les enfants au-dessous de sept ans ne sont comptés que pour moitié, soit 2 francs par an.

L'abonnement à robinet libre est formellement interdit pour alimenter des jets d'eau, aquariums ou tous autres écoulements continus.

Toute contravention de ce genre sera constatée par procès-verbal, pour ensuite être statué ce que de droit.

Art. 5. — *Robinets établis après la signature de la police.* — Si le concessionnaire, pendant le cours de la concession, désire faire établir de nouveaux robinets ne figurant pas sur la police d'abonnement, il devra, avant de faire entreprendre ces travaux, en donner avis par lettre adressée au Directeur de la Compagnie, afin qu'une nouvelle police comprenant le service de cette installation soit présentée à sa signature.

L'augmentation résultant de cette nouvelle installation devra être payée par l'abonné à partir du jour de la pose des robinets, quelle que soit d'ailleurs la date d'entrée en jouissance fixée par la nouvelle police et que les nouveaux robinets soient ou ne soient pas utilisés immédiatement après leur établissement.

Dans le cas où l'abonné négligerait de donner l'avis prescrit ci-dessus, les nouveaux robinets seront considérés comme existant depuis le commencement de l'abonnement, et l'augmentation résultant de leur installation sera payée à la Compagnie à partir de cette dernière date qui sera donnée par la police en cours.

Tout robinet supplémentaire supprimé devra également être signalé par lettre adressée au Directeur de la Compagnie qui en accusera récep-

tion. Le prix afférent à ce robinet ne sera déduit du montant de la police qu'à partir du premier jour du trimestre qui suivra la lettre d'avis, quelle que soit d'ailleurs la date de la suppression du robinet.

Art. 6. — *Robinets de paliers.* — Pour les étages dans lesquels il n'y aura pas de logements d'une valeur réelle de location dépassant 500 francs par an, les propriétaires pourront faire établir un robinet de palier dont ils disposeront, exclusivement, au profit des locataires habitant l'étage où sera établi ce robinet et n'y exerçant ni commerce ni industrie donnant lieu à l'emploi de l'eau.

Toutefois, dans le cas où il y aurait, dans l'immeuble, d'autres étages dans les conditions susindiquées, le robinet de palier ne pourra être accordé que si le propriétaire consent à en établir à chacun de ces étages.

Il est bien entendu que, dans le cas prévu par le présent article, ces robinets ne pourront être placés que sur le palier et non dans l'un des appartements.

Le prix à payer pour l'usage de chaque robinet, ainsi établi, sera de 16 fr. 20 par an.

Art. 7. — Dans les abonnements à robinet libre, tous les robinets de puisage placés dans les cuisines et dans les cabinets d'aisances devront être munis d'un appareil à repoussoir et devront être d'un des modèles acceptés par l'Administration.

Ces robinets ne devront point produire de coup de bélier et ils ne devront pouvoir être tenus ouverts autrement qu'à la main.

Art. 8. — *Abonnements jaugés ou au compteur.* — En dehors des deux modes d'abonnements susindiqués, l'eau ne sera plus fournie, à dater du 1er janvier 1881, que par des abonnements au compteur ou au robinet de jauge.

L'eau utilisée directement comme force motrice ne sera livrée qu'au moyen d'un abonnement au compteur.

Toutefois les propriétaires des établissements de bains publics qui ne voudront pas s'abonner au compteur, auront la faculté de s'abonner à robinet libre aux conditions suivantes :

L'eau fournie pour les bains sera de l'eau de l'Ourcq, partout où le niveau du sol permet de la distribuer, et les eaux de rivière sur les points inaccessibles à l'eau de l'Ourcq.

Le prix à forfait à payer par ces propriétaires sera calculé sur une moyenne de un bain et demi par jour et par baignoire, affectée tant au service sur place qu'au service à domicile.

Ce prix est fixé pour un bain à 0 fr. 05 c.

Les établissements de bains dans lesquels il existera aussi des piscines, des bains de vapeur, des douches, etc., devront avoir, pour cette partie

de leur service, une canalisation distincte et un abonnement, soit à la jauge, soit au compteur. Dans le cas où ces services ne seraient pas alimentés par les eaux de la Ville, l'abonnement par estimation ne serait pas applicable à l'établissement.

Les abonnements des lavoirs alimentés suivant le niveau des eaux, soit en eaux d'Ourcq, soit en eau de rivière, seront exclusivement à la jauge ou au compteur, et fixés au prix des abonnements des eaux industrielles indiqués à l'article 24 ci-dessous.

Art. 9. — *Interruptions des eaux.* — Les abonnés ne pourront réclamer aucune indemnité pour les interruptions momentanées du service résultant soit des gelées, des sécheresses et des réparations des conduites, aqueducs ou réservoirs, soit du chômage des machines d'exploitation, soit de toutes autres causes analogues.

Dans le cas d'arrêt de l'eau, en totalité ou en partie, l'abonné doit prévenir immédiatement la Compagnie dans un des bureaux établis pour cet usage et dans lesquels sont déposés des registres destinés à inscrire les réclamations.

Toute interruption de service dont la durée excéderait trois jours, à dater du jour où la réclamation de l'abonné aura été inscrite dans l'un des bureaux de la Compagnie, donnera droit pour cet abonné à une déduction dans le prix des abonnements, proportionnelle à tout le temps d'interruption de service qui excédera trois jours.

§ 2.

Colonnes montantes.

Art. 10. — *Colonnes montantes.* — Pendant les années 1881, 1882 et 1883 [1], la Compagnie se chargera, à ses frais, de l'établissement dans les maisons soit des colonnes montantes, soit de tous autres agencements plus économiques propres à mettre l'eau à la portée des locataires. Ces travaux seront livrés gratuitement aux propriétaires dont ils deviendront la propriété.

Pendant le cours de ces trois années, la Compagnie livrera de même gratuitement, dans les maisons non encore alimentées, la prise d'eau, le branchement et la colonne montante ou agencement à tout propriétaire qui en fera la demande, dans la limite des crédits votés.

Toutefois, les colonnes montantes, la prise et le branchement ne seront établis dans les conditions qui viennent d'être indiquées, que dans les maisons n'ayant pas d'abonnement d'eau et consentant des abonne-

1. Ce délai a été prorogé jusqu'à présent par des arrêtés préfectoraux successifs.

ments de 162 francs au moins ou de 32 fr. 40 [1] par étage, si le nombre des étages est inférieur à cinq.

Dans les maisons ayant déjà un abonnement à la date du 20 mars 1880, jour de la signature du nouveau traité fait entre la Compagnie et la Ville, on n'établira les colonnes montantes gratuitement que s'il est souscrit un supplément d'abonnement de 32 fr. 40 [2] par étage.

Seront considérés comme étages les rez-de-chaussée comprenant des appartements ou logements habités bourgeoisement.

Art. 11. — L'Administration municipale déterminera, d'ailleurs, chaque année, le chiffre maximum de la dépense à faire par la Compagnie, aussi bien pour les colonnes ou agencements de distribution que pour les prises.

Toutefois, il est dès maintenant déterminé que le montant total des dépenses à effectuer ne pourra dépasser une somme de 5 millions pendant les années 1881, 1882 et 1883.

Art. 12. — Les colonnes montantes ou agencements seront établis dans les cages d'escalier ou en tout autre endroit plus à proximité des cuisines, mais à l'intérieur des appartements et, autant que possible, à l'abri de la gelée.

Pour éviter l'action des gelées, il est nécessaire que les conduites soient mises en décharge la nuit et ne fonctionnent que pendant le temps rigoureusement nécessaire à l'approvisionnement.

Les abonnés qui ne voudront pas tenir compte de cette prescription seront seuls responsables des effets résultant des gelées.

Art. 13. — A partir de la colonne montante ou agencement, les tuyaux destinés à la distribution de l'eau dans les appartements ou sur les paliers seront établis par les propriétaires ou les abonnés et par les entrepreneurs de leur choix.

Il pourra être alloué, en outre, une prime de 30 francs à chaque abonné nouveau qui prendra l'eau sur les colonnes montantes ou agencements dans l'année de leur exécution.

Cette prime sera payée après l'exécution des travaux de distribution.

Art. 14. — Dans le cas où, pendant les années 1881, 1882 et 1883, les propriétaires feraient exécuter eux-mêmes la colonne montante à leurs frais, sous leur responsabilité et par les entrepreneurs de leur choix, il leur sera alloué, à titre de prime, les deux cinquièmes du montant des

1. Ces chiffres ont été abaissés respectivement à 81 francs et 16 fr. 20 par l'arrêté préfectoral du 14 octobre 1885.

2. 16 fr. 20 depuis le 14 octobre 1885.

abonnements nouveaux branchés sur la nouvelle colonne montante, pendant chacune des cinq premières années de l'établissement de cette colonne.

Dans le cas où ces propriétaires voudraient établir la colonne montante ou autre agencement dans l'intérieur des habitations et jouir de la prime indiquée au paragraphe précédent, ils devront adresser une demande spéciale au Préfet de la Seine, qui statuera après avoir entendu la Compagnie et qui indiquera les conditions particulières qu'il jugera nécessaires pour éviter les abus dans l'usage de l'eau.

Art. 15. — *Entretien.* — Les propriétaires auront la faculté de faire entretenir les colonnes montantes ou agencements établis par la Compagnie ou que celle-ci acceptera, soit par la Compagnie au prix du tarif ci-après, soit par tout autre entrepreneur.

Art. 16 — Tout propriétaire voulant faire établir une colonne montante dans les conditions indiquées ci-dessus, adressera à la Compagnie une demande indiquant le nombre et la quotité des abonnements nouveaux qu'il veut prendre pour chaque colonne montante à établir et qui ne pourront être inférieurs au chiffre indiqué à l'article 10, qui précède. Ce propriétaire sera appelé, dans un délai maximum de quinze jours, pour signer les engagements nécessaires, et la date de la signature de cette inscription donnera l'ordre de priorité des travaux à exécuter chez les abonnés.

Cet engagement stipulera l'obligation, pour ce propriétaire, de prendre ou de faire prendre les abonnements nécessaires dans un délai maximum de six mois, passé lequel il sera responsable de la différence entre le minimum demandé et le montant des abonnements souscrits.

§ 3.

Prises d'eau et robinets.

Art. 17. — *Unité de l'abonnement. Prises d'eau et robinets.* — Chaque propriété particulière devra avoir un branchement séparé avec prise d'eau distincte sur la voie publique.

L'abonné ne pourra conduire tout ou partie de l'eau à laquelle il a droit dans une propriété qui lui appartiendrait, que dans le cas où celle-ci serait adjacente à la première et aurait une cour commune.

A la fin de l'abonnement, les robinets d'arrêt et de jauge faits sur le modèle de la Compagnie, seront rendus à l'abonné après que la Compagnie aura changé la tête de ces robinets ; il en sera de même en cas de remplacement d'un de ces robinets.

Art. 18. — *Robinets d'arrêts.* — A l'origine de chaque branchement sera placé sous la voie publique un robinet d'arrêt sous bouche à clé, dont les agents de la Compagnie auront seuls la clé. Il sera placé de plus un robinet de jauge, en cas d'abonnement jaugé.

Les abonnés pourront faire placer à l'intérieur de leurs habitations un second robinet d'arrêt, à la condition que la clé dont ils feront usage sera différente de celle de la Compagnie.

Il est interdit aux abonnés, sous peine de poursuites judiciaires, de faire usage des clés du modèle de celles de la Compagnie, ou même de les conserver en dépôt.

Art. 19. — Chaque colonne montante sera pourvue d'un robinet d'arrêt. Ce robinet sera plombé ou renfermé dans un coffret fermant à clé, afin qu'il ne puisse être manœuvré, sauf le cas d'accident, que par les agents de la Compagnie.

Dans ce dernier cas, le propriétaire de la colonne montante devra en donner avis à la Compagnie, sans délai, en indiquant le motif qui a nécessité cette manœuvre.

Chaque branchement pris sur la colonne montante sera aussi pourvu d'un robinet de barrage.

Ces robinets seront également plombés et ne devront être manœuvrés, sauf les cas d'accident, que par les agents de la Compagnie.

Toute infraction à cette prescription sera poursuivie par les voies de droit.

Art. 20. — *Frais d'embranchements.* — Les travaux d'embranchement sur la conduite publique seront exécutés et réparés, aux frais de l'abonné et aux prix fixés par le tarif ci-après, par les ouvriers de la Compagnie, savoir :

Jusqu'au réservoir dans le cas de distribution à la jauge ;

Jusqu'au compteur dans le cas d'abonnement au compteur ;

Jusqu'au mur de face intérieure avec un bout de tuyau en plomb pénétrant de 0,50 dans l'intérieur de la propriété, dans le cas d'abonnement à robinet libre.

L'eau sera livrée aussitôt que le mémoire des travaux à la charge de l'abonné aura été soldé.

Les abonnés qui auront un réservoir dans l'intérieur de la propriété ou un compteur pourront faire faire les travaux de distribution intérieure, à partir du réservoir ou du compteur, par les ouvriers de leur choix.

Les travaux de pavage, de trottoirs, seront faits par les soins des ingénieurs du pavé de Paris, aux frais des abonnés, conformément aux dispositions de l'arrêté préfectoral du 29 juillet 1879.

Les abonnés ne pourront s'opposer aux travaux d'entretien et de ré-

paration des tuyaux et robinets établis pour le service de leurs abonnements, lorsqu'ils auront été reconnus nécessaires.

Tout ancien branchement de prise d'eau devra être pourvu, à son point de jonction avec la conduite publique, d'un robinet d'arrêt à la première réparation ou modification qu'il aura à subir.

Dans le cas de contestation sur la nécessité de ces travaux, la question sera résolue par l'Ingénieur en chef du service municipal chargé du contrôle du service des eaux.

Les abonnés devront payer le prix de ces travaux, conformément au tarif susénoncé, dans le mois qui suivra la notification du mémoire, à peine de fermeture de leur concession, sans préjudice du droit pour la Compagnie d'exercer un recours, s'il y a lieu.

Art. 21. — Dans tous les cas où la prise d'eau, soit d'une concession d'établissement public, soit d'un abonnement privé, sera pratiquée sur une conduite publique posée sous galerie, le tuyau alimentaire devra être placé dans le branchement d'égout desservant l'immeuble. Cette mesure sera appliquée immédiatement si ce branchement existe, sinon aussitôt que l'égout particulier aura été construit.

Le tuyau devra, pour entrer dans la propriété, pénétrer dans le mur pignon du branchement, ou, s'il y a impossibilité, être dévié latéralement sous le trottoir, le long de la façade de la propriété; dans ce cas, il sera contenu dans un fourreau métallique, étanche, incliné vers l'égout.

Les travaux prévus aux deux paragraphes ci-dessus seront exécutés conformément à l'article 20, aux frais de l'abonné, par la Compagnie ou ses entrepreneurs, aux conditions de prix de la série ci-jointe.

Faute de satisfaire à cette prescription, dans le délai de vingt jours à compter de l'invitation qui aura été signifiée à qui de droit par les soins de l'Ingénieur en chef du service municipal des eaux, le report sera fait d'office et aux frais de l'abonné.

§ 4.

Compteurs.

Art. 22. — *Fourniture et pose des compteurs.* — Les compteurs sont à la charge des abonnés qui ont la faculté de les acheter parmi les systèmes approuvés par l'Administration, la Compagnie entendue.

Les compteurs ainsi achetés ne pourront être mis en service qu'après avoir été vérifiés et poinçonnés par l'Administration.

Ils seront soumis, quant à l'exactitude et à la régularité de leur marche, à toutes les vérifications que l'Administration et la Compagnie jugeront devoir prescrire.

Les compteurs achetés par les abonnés pourront être posés par leur entrepreneur particulier ; mais cette installation, qui sera vérifiée par les agents de la Compagnie, devra être faite conformément aux indications de la police d'abonnement. Le plombage sera fait par les agents de la Compagnie.

Art. 23. — *Compteurs en location.* — La Compagnie fournira aux abonnés qui en feront la demande des compteurs en location du modèle qu'elle choisira parmi ceux approuvés par l'Administration.

Le tarif de location et d'entretien des compteurs est établi sur les bases suivantes :

Prix fixe par an et par compteur, quel que soit le volume d'eau consommé, 5 francs.

Prix variable s'ajoutant au prix fixe : 15 0/0 du prix de l'eau consommée pour les quantités inférieures à 1.000 litres.

Au delà et jusqu'à 5.000 litres, 15 0/0 sur les premiers 1.000 litres, et 6 francs par mètre cube supplémentaire de consommation journalière moyenne.

Au-dessus de 5.000 litres, la Compagnie traitera de gré à gré avec les abonnés.

Toutefois, le prix de location et d'entretien ne pourra jamais dépasser 12 0/0 du prix courant d'acquisition et de pose du modèle des compteurs choisis.

§ 5.

Prix de l'eau.

Art. 24. — *Usage des eaux de l'Ourcq.* — Les eaux de l'Ourcq sont exclusivement réservées, en dehors des services publics, aux besoins industriels et aux services des écuries, remises, cours et jardins.

Dans les rues où le niveau ne permet pas d'amener les eaux de l'Ourcq, il pourra y être suppléé, aux mêmes conditions, par les eaux de Seine, de Marne ou autres équivalentes, si l'Administration le juge convenable et si les immeubles sont d'ailleurs approvisionnés en eau de source pour les usages désignés aux articles 3 et 6 ci-dessus, de même que si la canalisation le permet.

La Compagnie sera libre de traiter à forfait, sauf approbation de l'Administration en cas de contestation, pour les livraisons d'eau par attachement ou par supplément. Dans ce mode de livraison, les prix de vente devront être au moins égaux à ceux des tarifs.

ART. 25. — *Tarif de l'eau. Tarif pour les abonnements jaugés et au compteur.* — Le prix de l'eau sera déterminé d'après le tarif suivant :

QUANTITÉ de la FOURNITURE JOURNALIÈRE	PRIX PAR AN	
	Eaux de l'Ourcq et de rivière pour les usages industriels ou pour le service des écuries, cours et jardins.	Eaux de sources, de rivière et autres pour les usages domestiques.
	Fr. c.	Fr. c.
125 litres par jour	» »	20 »
250 »	» »	40 »
500 »	» »	60 »
1.000 »	60 »	120 »
1.500 »	90 »	180 »
2.000 »	120 »	240 »
2.500 »	150 »	300 »
3.000 »	180 »	360 »
3.500 »	210 »	420 »
4.000 »	240 »	480 »
4.500 »	270 »	540 »
5.000 »	300 »	600 »

Au-dessus de 5 mètres cubes et jusqu'à 10 mètres cubes, mais pour les cinq derniers mètres cubes seulement, les prix seront ainsi fixés :

Pour l'eau de l'Ourcq ou équivalentes désignées à l'article 25, 50 francs par an et par mètre cube.

Pour l'eau de sources, de rivières et autres, 100 francs par an et par mètre cube.

Au-dessus de 10 mètres cubes et jusqu'à 20 mètres cubes, mais pour les dix derniers mètres cubes seulement, les prix seront évalués :

Pour l'eau de l'Ourcq et équivalentes indiquées à l'article 25, 40 francs par an et par mètre cube.

Pour l'eau de sources, de rivière et autres, 80 francs par an et par mètre cube.

Au delà de 20 mètres cubes, mais seulement pour les quantités excédentes, la Compagnie traitera de gré à gré sans qu'en aucun cas le prix du mètre cube puisse être inférieur pour les eaux de l'Ourcq et ses équivalentes à 25 francs, à 55 francs pour les eaux de sources, de rivière et autres [1].

1. Abrogé par les arrêtés du 30 décembre 1880 et 18 mars 1887 qui ont fixé les tarifs supplémentaires suivants :

Eaux d'Ourcq ou équivalentes pour les bains et lavoirs publics

de 20 à 40 m³ pour les 20 derniers seulement . . . . . le m. c. 35 fr.
de 40 à 60. . . . . — 30 »
au delà de 60 . . . . . — 25 »

Eaux d'Ourcq ou équivalentes pour les autres industries

de 20 à 80 m³ pour les 60 derniers seulement. . . . . le m. c. 35 fr.
de 80 à 120 pour les 40 derniers mètres. . . . . le m. c. 30 »
au delà de 120 . . . . . — 25 »

(Voir la suite de la note à la page 696.)

Ces traités de gré à gré devront d'ailleurs être approuvés par le Préfet de la Seine.

Art. 26. — Il ne sera pas accordé d'abonnement inférieur à 1,000 litres pour les eaux de l'Ourcq ou autres équivalentes et à 125 litres pour les eaux de sources, de rivières et autres.

L'abonné ne pourra réclamer de l'eau d'une origine autre que celle existante dans les conduites placées dans le sol de la voie publique où se trouve la propriété pour laquelle il contracte l'abonnement.

Art. 27. — *Payement.* — Le prix de l'abonnement sera payé sur la quittance de la Compagnie, d'avance, aux époques indiquées dans l'engagement du concessionnaire.

L'abonné au compteur devra payer d'avance le montant de son abonnement minimum, tel qu'il est ainsi fixé par sa police d'abonnement pour l'année entière.

Chaque mètre cube d'eau consommée en sus de l'abonnement sera payé au prix fixé par la police d'abonnement.

Le volume d'eau consommée sera relevé dans la première quinzaine de chaque trimestre, contradictoirement avec l'abonné qui devra reconnaître et signer ce relevé.

Le supplément de consommation sera dû à la Compagnie par l'abonné dès que le relevé trimestriel constatera que le montant de l'abonnement minimum sera dépassé.

Dans le cas où la consommation annuelle n'atteindrait pas le chiffre résultant de la police d'abonnement, le prix minimum fixé à cette police n'en sera pas moins acquis intégralement à la compagnie.

La consommation journalière ne devra d'ailleurs, dans aucun cas, dépasser quatre fois le volume d'eau de l'abonnement souscrit.

A défaut de payements réguliers aux époques ci-dessus indiquées, le service des eaux sera suspendu et l'abonnement pourra être résilié, sans préjudice des poursuites que la Compagnie pourra exercer contre l'abonné.

§ 6.

Dispositions générales.

Art. 28. — *Dispositions générales. Responsabilité des abonnés.* — Les abonnés seront exclusivement responsables envers les tiers de tous les

Eaux de source ou autres pour les usages domestiques de 20 à 30 m. c. mais pour les 10 derniers seulement le mètre cube	. . . . .	70 fr.
de 30 à 40 —	. . . . .	65 »
de 40 à 50 —	. . . . .	60 »
au delà de 50 —	. . . . .	55 »

dommages auxquels l'établissement ou l'existence de leurs conduites pourrait donner lieu, sauf leur recours contre qui de droit.

ART. 29. — *Constatation des branchements.* — Lors de la mise en jouissance de chaque abonné, il sera dressé contradictoirement, entre l'abonné et la Compagnie, un état de lieux indiquant la nature, la disposition et le diamètre des conduites, savoir :

De la conduite publique au réservoir, dans le cas d'abonnement jaugé ;

De la conduite publique au compteur, dans le cas d'abonnement au compteur.

Lorsqu'il s'agira d'un abonnement d'appartement, l'état des lieux comprendra en plus la canalisation de distribution intérieure, ainsi que le nombre et l'emplacement des robinets et orifices d'écoulement.

L'abonné ne pourra rien changer aux dispositions primitivement arrêtées, à moins d'en avoir préalablement obtenu l'autorisation de la Compagnie.

ART. 30. — *Interdiction de céder les eaux.* — Il est formellement interdit à tout abonné de laisser embrancher sur sa conduite, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur, aucune prise d'eau au profit d'un tiers.

Les eaux de la Ville de Paris étant des eaux publiques, inaliénables et imprescriptibles, et ne pouvant faire l'objet d'un commerce, ne sont concédées aux habitants qu'à la condition de n'en disposer que pour leur usage personnel ou celui de leurs locataires ; il est donc interdit à l'abonné de disposer, ni gratuitement, ni à prix d'argent, ni à quelque titre que ce soit, en faveur de tout autre particulier ou intermédiaire, de la totalité ou d'une partie des eaux qui lui sont fournies d'après sa police d'abonnement, ni même du trop-plein de son réservoir.

L'abonné ne pourra non plus augmenter à son profit le volume de son abonnement.

ART. 21. — *Surveillance.* — La distribution d'eau pratiquée dans l'intérieur des propriétés particulières et dans les appartements sera constamment soumise à l'inspection des agents de la Compagnie et de la Ville, sous peine de fermeture de la concession. Ces agents pourront établir aux frais de l'Administration et sur le branchement de chaque abonné, un compteur qui leur permettra de constater, au besoin, la consommation réelle de l'abonné.

ART. 32. — *Interdiction de rémunération aux agents du service.* — Il est interdit aux abonnés et à tous leur ayants droit de rémunérer, sous quelque prétexte et sous quelque dénomination que ce puisse être, aucun agent de l'Administration ou de la Compagnie.

Art. 33. — *Infraction à l'usage de l'eau défini à la police.* — Toute infraction dûment constatée aux dispositions du présent règlement, en ce qui concerne l'usage de l'eau tel qu'il est défini à la police d'abonnement, entraînera l'obligation pour l'abonné de payer à titre de dommages-intérêts une indemnité de 300 francs, et les causes de cette pénalité devront disparaître dans un délai maximum de quinze jours, sous peine de fermeture de la concession jusqu'à ce que l'abonné ait consenti à se conformer aux dispositions réglementaires, soit en signant une nouvelle police d'abonnement, soit en faisant disparaître les causes de l'infraction ou de la contravention constatée par procès-verbal.

Lorsque les eaux concédées pour un usage industriel auront été employées à des usages domestiques, cette infraction entraînera pour les particuliers, outre les pénalités ci-dessus stipulées, l'application du tarif des eaux de sources, de rivières et autres pour les usages domestiques indiquées à l'article 25.

Art. 34. — *Résiliations.* — Les parties pourront renoncer à la continuation du service des abonnements, en s'avertissant réciproquement d'avance, savoir :

Au bout de la première année, de trois mois en trois mois, s'il s'agit d'abonnements annuels ;

Au bout du premier trimestre, de mois en mois, s'il s'agit d'abonnements trimestriels.

Quelle que soit l'époque de l'avertissement, le prix de l'abonnement sera exigible jusqu'à son expiration.

Art. 35. — *Mutations de propriété.* — L'abonnement ne sera pas résilié par le seul fait de la mutation de la propriété ou de l'établissement dans lequel les eaux seront fournies.

L'abonné ou ses héritiers seront responsables du prix de l'abonnement jusqu'à ce qu'ils aient accompli la formalité exigée par l'article 34, sans préjudice du retour contre le successeur qui aura joui des eaux.

Art. 36. — *Suppression des appareils de distribution en cas de résiliation.* — Dès la résiliation d'un abonnement et si l'abonné est propriétaire du branchement, la Compagnie devra faire couper et détacher le tuyau de concession près de son point de jonction avec la conduite publique, en conservant toutefois le collier pour maintenir la plaque pleine sur l'orifice de la prise d'eau.

Ce travail, ainsi que toutes les fouilles et tous raccordements, seront exécutés d'office et aux frais du propriétaire du branchement, par les soins de la Compagnie générale des Eaux.

A la suite de l'opération effectuée par la Compagnie, le propriétaire du branchement aura la faculté d'enlever les robinets d'arrêt, bouches à

clé et autres agrès de prise et de distribution d'eau, sauf le collier, en se conformant aux prescriptions du paragraphe 3 de l'article 17 ci-dessus.

En tous cas, il restera responsable des conséquences qui pourraient résulter de l'existence des agrès qu'il laisserait soit à l'intérieur, soit même sous la voie publique.

La Compagnie tiendra attachement de ces dépenses qui lui seront, d'après ses mémoires dûment réglés, remboursées par le propriétaire du branchement, ou, à son défaut, par le nouvel abonné qui déclarera dans sa police vouloir profiter de l'ancienne prise d'eau.

La remise en service du branchement n'aura lieu qu'après ce remboursement.

ART. 37. — *Frais d'exécution.* — Les frais de timbre et d'enregistrement des polices seront supportés par les abonnés.

ART. 38. — *Contraventions.* — Les contraventions au présent règlement seront constatées par les agents de la Compagnie qui en dresseront procès-verbal.

ANNEXE X

MODÈLES DES POLICES D'ABONNEMENTS

DISTRIBUTION DES EAUX

VILLE DE PARIS

SERVICE DES ABONNEMENTS D'APPARTEMENTS

Eau de

me ARRONDISSEMENT

Rue
No
Quartier

M
Quantité
Somme annuelle

No de la police
Date de la police

Date de l'entrée en jouissance

Prédécesseur { M

Bureau de réclamations
Rue

ART. 37 DU RÈGLEMENT
Les frais de timbre et d'enregistrement sont supportés par les abonnés.

COMPAGNIE GÉNÉRALE DES EAUX

SOCIÉTÉ ANONYME, CAPITAL : 20.000.000 DE FRANCS

52, rue d'Anjou-Saint-Honoré.

POLICE D'ABONNEMENT

à Robinet libre.

M locataire au étage de la maison sise à Paris, rue numéro , demande à la *Compagnie générale des Eaux*, à titre d'abonnement le service des eaux qu' déclare devoir être employées aux besoins particuliers de son appartement occupé par personnes, enfants, employés, et dans lequel il existe :

robinet dans la cuisine,
robinet d'office,
robinet de salle de bains,
robinet de douches,
robinet de cabinet de toilette,
robinet de cabinet d'aisances.

Cette eau sera livrée suivant le mode indiqué au paragraphe deux de l'article 2 du règlement sur les abonnements, moyennant la somme annuelle de qu' s'engage à verser par avance et par à la *Compagnie générale des Eaux*, à partir du jour de l'entrée en jouissance fixée au

Si, sur la demande de M , l'eau est livrée avant la date ci-dessus indiquée, il sera établi un décompte de cette fourniture anticipée, qui sera payé en même temps que la quittance de

La *Compagnie générale des Eaux*, agissant au nom et comme régisseur de la Ville de Paris, fera faire cette fourniture aux clauses et conditions du règlement dont M reconnai avoir pris connaissance et reçu copie.

Fait à Paris, le mil huit cent quatre-vingt

L'Abonné *Le Directeur de la Compagnie*

Vu : l'Administrateur de service

RECTO

DISTRIBUTION DES EAUX

VILLE DE PARIS

SERVICE
DES ABONNEMENTS
AU COMPTEUR

Eau de

=e ARRONDISSEMENT

Rue
N°
Quartier

M
Quantité
Somme annuelle

N° de la police
Date de la police

Date
de l'entrée en jouissance

Prédécesseur { M

Bureau de réclamations
Rue

COMPAGNIE GÉNÉRALE DES EAUX

SOCIÉTÉ ANONYME, CAPITAL : 20.000.000 DE FRANCS

52, rue d'Anjou-Saint-Honoré.

POLICE D'ABONNEMENT

Pour les usages domestiques.

M demeurant à rue , n° demande à la *Compagnie générale des Eaux,* à titre d'abonnement annuel, dans la propriété dont rue , n° la quantité de litres d'eau de qu' déclare devoir être exclusivement employée aux besoins particuliers de

Cette eau sera livrée suivant le mode indiqué au paragraphe trois de l'article 2 du règlement sur les abonnements, moyennant la somme annuelle de qu' s'engage à verser par avance et par à la *Compagnie générale des Eaux,* à partir du jour de l'entrée en jouissance fixée au

Si, sur la demande de M. , l'eau est livrée avant la date ci-dessus indiquée, il sera établi un décompte de cette fourniture anticipée, qui sera payé en même temps que la quittance d

La *Compagnie générale des Eaux,* agissant au nom et comme régisseur de la Ville de Paris, fera faire cette fourniture, aux clauses et conditions du règlement dont M reconnai avoir pris connaissance et reçu copie, et encore aux conditions imprimées au verso de la présente police.

Fait à Paris, le mil huit cent quatre-vingt

L'Abonné *Le Directeur de la Compagnie*

Vu : l'Administrateur de service

ART. 37 DU RÉGLEMENT
Les frais de timbre et d'enregistrement sont supportés par les abonnés.

VERSO

L'eau sera livrée au compteur ; en conséquence, il sera établi chez l'abonné un compteur d'un des systèmes admis par la Ville de Paris. Le diamètre de ce compteur sera de

Ce compteur sera fourni et posé par l'abonné, et à ses frais. L'entretien en sera également fait par l'abonné, et toute réparation signalée par la Compagnie devra être exécutée sans délai, à peine de fermeture de la concession jusqu'à ce que la réparation soit effectuée.

A l'entrée du compteur, il sera posé, aux frais de l'abonné, un robinet de sûreté. Le compteur sera posé et maintenu par des vis ou scellements sur une plate-forme fixe et parfaitement horizontale; ses raccords sur les tuyaux d'arrivée et de sortie de l'eau seront plombés sur l'empreinte du cachet de la Compagnie.

Toute rupture des scellements et des cachets, par le fait de l'abonné ou de ses agents, pourra donner lieu à une action en dommages et intérêts, et à toutes poursuites de droit.

Il est formellement interdit à l'abonné d'apporter aucune modification dans les organes du compteur et de ses accessoires, et dans sa position, sans le concours d'un agent de la Compagnie.

L'abonné devra laisser un libre accès aux agents de la Compagnie, dans l'endroit où sera posé le compteur; tout refus à cet égard sera poursuivi par toutes les voies de droit.

L'emplacement du compteur devra être d'un accès facile et choisi, de manière que le chiffre des consommations puisse être relevé.

Tout acte qui aurait pour but d'obtenir l'eau sans le concours de la Compagnie, et en dehors des quantités passant par le compteur, sera poursuivi par toutes les voies de droit.

L'abonné n'aura aucun supplément à payer si la quantité d'eau ne dépasse pas le minimum indiqué d'autre part; mais il n'aura droit à aucune réduction sur ce minimum, quelle que soit sa consommation réelle. Il devra, au contraire, payer les excédents trimestriellement constatés, au mètre cube et au prix de la présente police d'abonnement.

L'abonné ne sera point recevable dans ses réclamations pour insuffisance d'alimentation, si le volume d'eau accusé par le compteur représente au moins celui de l'abonnement souscrit.

Le volume d'eau consommée sera relevé dans la première quinzaine de chaque trimestre, contradictoirement avec l'abonné qui devra reconnaître et signer ce relevé.

En cas d'arrêt du compteur, la consommation, pendant la durée de cet arrêt, sera calculée sur la moyenne de la dépense par jour de la même période de l'année précédente.

NOTA. — Le soussigné demande un compteur en location ; en conséquence, la Compagnie fournira et posera ce compteur dont le système sera choisi par elle parmi ceux approuvés par l'Administration.

La location et l'entretien de ce compteur seront payés par l'abonné, soussigné, à la Compagnie, suivant les dispositions de l'article 23 du règlement sur les abonnements.

L'Abonné

DISTRIBUTION DES EAUX

VILLE DE PARIS

SERVICE DES ABONNEMENTS JAUGÉS

Eau de

me ARRONDISSEMENT

Rue
No
Quartier

M
Quantité
Somme annuelle

No de la police
Date de la police

Date de l'entrée en jouissance

Prédécesseur { M

Bureau de réclamations
Rue

ART. 37 DU RÈGLEMENT
Les frais de timbre et d'enregistrement sont supportés par les abonnés.

COMPAGNIE GÉNÉRALE DES EAUX

SOCIÉTÉ ANONYME, CAPITAL : 20.000.000 DE FRANCS

52, rue d'Anjou-Saint-Honoré.

POLICE D'ABONNEMENT

à la jauge.

M.
demeurant à rue no
demande à la *Compagnie générale des Eaux,* à titre d'abonnement annuel, dans la propriété dont
rue no la quantité de
litres d'eau de qu' déclare devoir être exclusivement employée aux besoins particuliers de

Cette eau sera livrée suivant le mode indiqué au paragraphe 1er de l'article 2 du règlement sur les abonnements, moyennant la somme annuelle de
qu' s'engage à verser par avance et par à la *Compagnie générale des Eaux,* à partir du jour de l'entrée en jouissance fixée au

Si, sur la demande de M , l'eau est livrée avant l'époque ci-dessus indiquée, il sera établi un décompte de cette fourniture anticipée, qui sera payée en même temps que la quittance d

La *Compagnie générale des Eaux,* agissant au nom et comme régisseur de la Ville de Paris, fera faire cette fourniture, aux clauses et conditions du règlement dont M
reconnai avoir pris connaissance et reçu copie.
Fait à Paris, le
mil huit cent quatre-vingt

L'Abonné *Le Directeur de la Compagnie*

Vu : l'Administrateur de service

Paris. — Soc. d'imp. PAUL DUPONT, 24, rue du Bouloi (Cl.). 81.4.83.

School of Hygiene & Tropical
8 NOV. 1929