

Dans l'expédition d'Abyssinie, les animaux embarqués font reçu les rations suivantes :

Éléphants.	25 gallons
Chameaux.	10 —
Grands bœufs.	6 —
Petits bœufs.	5 —
Chevaux.	6 —
Mulets et ponies	5 —

On avait embarqué 50 000 gallons d'eau (225 000 litres) pour 20 éléphants et 100 hommes, pendant un voyage dont la durée était estimée à 60 jours.

Les progrès que réalisent les villes au point de vue de l'arrosage des rues et des places, de l'aménagement des égouts et de la propreté générale, tendent évidemment à augmenter de jour en jour la quantité d'eau dont elles font usage. Au reste, dans les pays chauds, la quantité requise est certainement beaucoup plus grande que dans les pays tempérés ou froids, d'autant plus qu'une partie de cette eau sert uniquement à rafraîchir l'atmosphère.

CHAPITRE III

MOYENS PRATIQUES DE CONSERVER, DE PURIFIER ET DE DISTRIBUER LES EAUX.

Une quantité d'eau suffisante pour les besoins d'une localité ayant été trouvée, il est indispensable d'en faire provision, pour parer aux inconvénients qu'entraînent les inégalités, les variations que peut offrir le volume des sources. Il s'agit non seulement de la conserver dans les conditions qui ne l'altèrent point, mais encore, s'il est possible, d'en corriger les défauts.

Il est des eaux qui se conservent aisément, d'autres qui se corrompent plus ou moins rapidement. C'est la présence des germes, d'animalcules ou de plantes, qui expose les eaux à ce commencement de putréfaction.

Pour éviter le développement des germes, le réservoir devra, autant que possible, être soustrait à l'action de la lumière et placé à l'abri de l'air. Les réservoirs doivent être plus profonds qu'ils ne sont étendus en surface. Cette précaution s'oppose à l'évaporation et donne à l'eau une plus grande fraîcheur.

Les meilleurs réservoirs sont construits en pierre de taille ou en béton recouvert de ciment hydraulique. Pour des réservoirs plus petits, on peut

employer l'argile, la brique, l'ardoise, enfin le fer, qui, pour éviter l'oxydation, doit être vitrifié. Ces réservoirs en fer sont fort communs en Angleterre et aux Indes. Mais il est nécessaire de les protéger contre les rayons solaires, et, autant que possible, de les entourer d'une couche épaisse de matériaux non conducteurs du calorique.

Il va sans dire que les réservoirs doivent être nettoyés à des époques plus ou moins rapprochées, pour les assainir et détruire la végétation qui se développe presque toujours en présence de grandes masses d'eau. Cependant il est des plantes inférieures (*protococcus*, *chara*, etc.), qui émettent une quantité considérable d'oxygène, agissant ainsi comme des agents naturels de purification, et brûlant les matières organiques qui peuvent se trouver en suspension dans l'eau. Chevers nous apprend que dans certains réservoirs qui, par ordre du général Napier, furent débarrassés des plantes aquatiques qu'ils renfermaient, la qualité de l'eau se trouva notablement détériorée.

A bord des navires, on a conseillé des procédés fort divers. On peut conserver l'eau dans des fûts goudronnés ou carbonisés intérieurement. Sur les grands vaisseaux de l'État, on emploie la tôle galvanisée. On dit que le zinc n'exerce aucune influence fâcheuse sur la santé des marins (Gautier). Cependant ce métal est attaqué par l'eau, et l'on a constaté, en Angleterre, des cas nombreux d'empoisonnement chez des personnes qui avaient fait usage d'eau conservée dans des vases en zinc ou qui avait traversé des tuyaux formés de ce métal. Mais le zinc était-il bien pur ?

La purification des eaux se fait par épuration et filtration.

Chez les Romains, il y avait, au commencement et à la fin des aqueducs, une *piscina limaria* destinée à opérer une décantation.

L'épuration de l'eau par le repos a été appliquée à Marseille. Les eaux de la Durance étant toujours limoneuses, on a dû, pour remédier à cet inconvénient, disposer, sur le parcours du canal, quatre grands bassins d'épuration, où, la pente étant insignifiante, l'eau s'écoule lentement et se débarrasse de la majeure partie du limon¹.

Ce procédé a le grave défaut d'exiger une superficie considérable et de ne point toujours réussir, car MM. Maurin et Roussin ajoutent que, « pendant les jours d'orage, de pluie et de tempête, moment où la décantation est surtout utile, l'eau n'abandonne pas, dans les bassins d'épuration, les matières qu'elle tient en suspension. » De plus, si les eaux restent trop longtemps stagnantes, elles peuvent s'altérer.

Ce premier procédé n'étant point applicable partout, ne réussissant pas toujours, on a recours à la *filtration*, soit naturelle, soit artificielle. Les

¹ *Eaux potables de Marseille.* — Maurin et Roussin.

filtres naturels peuvent donner des masses d'eau destinées à toute une ville, mais une configuration spéciale est encore nécessaire. On établit des tranchées au contre-bas de l'étiage, et l'eau s'y rend entraversant un terrain sablonneux perméable. Exemples : Toulouse, Lyon, Glasgow.

L'eau qui est distribuée aux particuliers doit subir une seconde épuration plus complète. Telle est l'utilité des filtres de ménage. Il en existe de différentes espèces. Ils doivent essentiellement se composer de plusieurs compartiments mobiles, formés par des couches de laine, de charbon et de sable ; dans quelques appareils, l'eau est reçue sur une éponge qui la laisse tomber, goutte à goutte, sur les compartiments inférieurs. Enfin, il est des filtres de charbon qui sont destinés surtout à débarrasser le liquide des éléments putrides qu'il peut renfermer. Mais il est important de remarquer que, d'après M. Davaine, le charbon favorise le développement des vibrions en absorbant les gaz putrides.

Dans les ménages parisiens, on emploie volontiers un filtre à pierre poreuse ; mais cet appareil, qui n'arrête qu'imparfaitement les matières organiques, doit être très souvent nettoyé pour rendre véritablement des services. Au reste tous les filtres, quelle que soit leur disposition, doivent être souvent visités, si l'on veut qu'ils fonctionnent d'une manière satisfaisante.

Quand les eaux sont très impures, la filtration ne suffit pas pour les assainir ; le mieux serait de n'en point faire usage. Lorsqu'on est obligé de s'en servir, il faut les distiller, ou tout au moins les faire bouillir pour détruire les organismes inférieurs dont elles sont infectées.

Si l'eau est *séléniteuse*, il faut l'additionner d'un peu de carbonate de soude ; il se produit ainsi du sulfate de soude qui, s'il est en grande quantité, lui communique des propriétés laxatives qui n'ont aucun inconvénient pour la santé. Il ne faudrait point s'aviser d'employer dans ce but le carbonate de potasse ; le sulfate de potasse est, en effet, un sel vénéneux, à dose même peu considérable.

Si l'eau est *incrustante*, il faut y ajouter une faible quantité de chaux caustique, dont la proportion sera déterminée empiriquement.

DISTRIBUTION DES EAUX.

Rassembler les eaux sur un point central d'où elles puissent se répandre dans les réservoirs qui alimentent les habitations privées et sur tous les points où leur présence est nécessaire, tel est le problème qui se présente aux administrateurs chargés de distribuer l'eau dans une ville. La solution a varié suivant les lieux, suivant les époques et suivant les procédés en vigueur.

Les anciens, et par ce mot il faut surtout entendre les Romains, dont les travaux à cet égard ont dépassé de beaucoup tout ce qui s'était fait

avant eux, les anciens employaient de préférence des aqueducs pour transporter dans les villes les eaux des sources lointaines. On a supposé que ces travaux dispendieux reposaient sur l'ignorance de l'hydrostatique. Cependant les fouilles de Pompéi, en nous révélant l'aménagement intérieur des maisons antiques, et en particulier le service des bains, ont démontré que les anciens connaissaient parfaitement le principe en vertu duquel l'eau remonte, dans un tube fermé, jusqu'au niveau de son point de départ. Il faut donc supposer que c'était dans le but d'obtenir des eaux mieux aérées, plus fraîches et plus salubres, qu'ils s'abstenaient de les faire couler dans des canaux souterrains. Au reste, à cette époque, le travail de l'homme était loin d'avoir la même valeur qu'aujourd'hui.

Les modernes ont construit quelquefois les aqueducs sur le plan des anciens ; tel est, par exemple, l'aqueduc de Roquefavour, qui amène à Marseille l'eau puisée dans la Durance ; celui de Montpellier, qui transporte dans cette ville les sources de Saint-Clément et du Lez ; et la dérivation de la rivière Croton, pour l'alimentation de New-York. Rappelons enfin les travaux si considérables qui sont venus compléter le système des eaux de Paris.

Lorsqu'il est possible d'établir une prise d'eau à une hauteur telle qu'elle puisse couler naturellement jusqu'à l'un des points culminants de la ville qu'elle doit alimenter, la question se trouve notablement simplifiée. Mais il n'en est pas toujours ainsi : souvent il faut recourir à d'autres moyens pour amener les eaux sur les points où l'on veut les utiliser. Aujourd'hui, l'usage des tuyaux de fonte permet de faire franchir les vallées en siphon, et les machines élévatoires permettent aux villes d'employer des eaux qui coulent à un niveau plus bas que le leur. Arrivées à leur destination, les eaux sont concentrées dans des réservoirs ou châteaux d'eau.

Il faut que l'eau atteigne par sa hauteur le niveau des maisons les plus élevées, afin qu'elle puisse être distribuée à tous les étages, à moins qu'on ne préfère suppléer à cette condition par le travail des pompes. Le procédé le plus imparfait est celui des porteurs d'eau qui fonctionnent dans une grande partie de Paris. C'est un système destiné à disparaître devant les progrès de l'administration municipale.

Nous ne voulons point discuter ici les divers systèmes de distribution des eaux qui ont prévalu dans diverses localités. Nous ferons seulement remarquer que les deux principales méthodes consistent dans un service intermittent, avec réservoirs locaux pour accumuler l'eau pendant un espace de deux à trois jours, et un service constant, par lequel l'eau est fournie d'une manière continue, de telle sorte qu'on peut toujours se procurer de l'eau par l'ouverture des robinets.

Les avantages d'un service constant sont manifestes au point de vue hygiénique ; la stagnation de l'eau dans les réservoirs particuliers peut en

amener l'altération à un très haut degré, surtout dans les ménages pauvres, où règne une certaine insouciance à l'égard de tout ce qui concerne la propreté. Quant au système du service constant, il présente des inconvénients, au point de vue économique, qui ne doivent pas nous occuper ici.

On nous permettra d'indiquer à grands traits les lignes principales de la distribution des eaux de la ville de Paris.

Après de longues études, on résolut d'amener à Paris les eaux des sources de la Dhuis et de la Vanne, qui sortent des terrains crayeux du bassin de Paris, à la limite des argiles de la Brie et de la craie blanche de Champagne. Ce projet a été réalisé dans son intégrité de 1861 à 1876. Les eaux de la Seine et les eaux du canal de l'Ourcq sont affectées à l'arrosage, au lavage, aux fontaines. Les eaux de sources fraîches et pures sont réservées aux usages domestiques. La ville dispose de 380,000 à 400,000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

On a commencé par amener les eaux de la Dhuis; le travail a été terminé en 1865. L'aqueduc de dérivation est formé de galeries en maçonnerie de 1^m,76 à 1^m,40 de largeur intérieure et de tuyaux en fonte de 1 mètre, 1^m,10. Il suit les coteaux qui bordent la Dhuis et la Marne. Son développement est de 131 kilomètres. Les eaux sont prises à 150 mètres au-dessus du niveau de la mer, et elles arrivent à Paris sur les hauteurs de Ménilmontant, à 108 mètres au-dessus de la mer, soit à 81 mètres au-dessus de la Seine. Elles sont reçues dans un vaste réservoir et s'écoulent dans la canalisation qui dessert les quartiers de la rive droite. Le réservoir est à deux étages. L'étage supérieur est réservé à la Dhuis. Dans l'étage inférieur, on élève les eaux de la Marne pour suppléer à l'insuffisance des eaux de l'Ourcq pendant l'été. Cette alimentation supplémentaire a nécessité la construction de trois usines hydrauliques : l'usine de Trilbardou (Seine), l'usine de Isles-les-Meldeuses, l'usine de Saint-Maur. Cette dernière, la plus importante, dispose de 780 chevaux de force, obtenus au moyen de roues et de turbines, et de 500 chevaux produits par deux machines à vapeur, soit 1,080 chevaux au total. Deux roues du système Girard envoient à Ménilmontant 12,000 mètres d'eau par vingt-quatre heures, puisés dans une source découverte à Saint-Maur. Les autres roues et turbines refoulent à Ménilmontant 28,000 mètres d'eau de la Marne. Enfin l'une des turbines élève dans le lac de Gravelle, qui sert à alimenter d'eau le bois de Vincennes, 25,000 mètres cubes d'eau de la Marne. Les machines à vapeur ne servent qu'en cas de chômage des moteurs hydrauliques.

L'aqueduc de la Vanne n'a pu être terminé qu'en 1875. Il sert à alimenter les quartiers bas et moyens. Il a 175 kilomètres de développement, et il apporte par vingt-quatre heures 100,000 mètres cubes. Sa construction compliquée a nécessité des parties voûtées, d'autres en tranchées, des arcatures, des souterrains et des siphons. Les eaux de la Vanne sont d'une admirable limpidité¹. Les sources utilisées sont à deux niveaux différents. Les eaux des sources hautes descendent naturellement à Paris; les sources basses sont de 15 à 20 mètres au-dessous de l'aqueduc principal. On a été obligé de construire trois usines pour les relever. Les usines de Chigy, de la Forge et de Malay-le-Roy sont mues par la rivière de la Vanne. L'aqueduc passe de la vallée de la Vanne dans celle de l'Yonne, par l'intermédiaire d'un siphon de près de 4 kilomètres de développement, soutenu par un pont en béton aggloméré. Il traverse les sables de la forêt de Fontainebleau et passe sur la Bièvre à l'aide d'un pont-canal de 990 mètres de longueur, composé de 77 arcades. Il arrive enfin au grand réservoir de Montsouris, à l'altitude de 80 mètres.

¹ L'eau de la Seine, recueillie avant son entrée dans Paris, est capable de déterminer l'infection du bouillon neutre à la dose de 1/50 à 1/50 de goutte. L'eau de la Vanne ne détermine l'altération des mêmes conserves de bouillon que sous le volume de 1 à 1/2 goutte. L'eau de la Vanne est donc de 20 à 40 fois plus pure que l'eau de la Seine; mais l'eau de la Vanne qui n'est féconde qu'à 1 goutte, le devient à 1/20, quand elle est conservée, même dans des vases plombés à l'abri des poussières extérieures (P. Miquel). Toutes les eaux doivent donc, au point de vue de l'hygiène, être employées sur l'heure et renouvelées à tous les repas.

Le réservoir de Montsouris a une capacité de 500,000 mètres cubes; il est aussi à deux étages. Le réservoir supérieur est formé de vingt-huit compartiments.

Un des points qui intéressent le plus directement l'hygiéniste est celui de l'action des eaux sur les conduits qui servent à les transporter. Jusqu'à ces derniers temps, ce sont des tuyaux en plomb qui ont presque exclusivement rempli cet office. Mais il est aujourd'hui démontré que l'eau dissout ce métal en quantité appréciable, et cela avec d'autant plus d'énergie qu'elle est plus pure et plus oxygénée; on attribue aussi une certaine action aux matières organiques, aux azotates, aux azotites et aux chlorures que peut renfermer l'eau. Par contre, les eaux riches en acide carbonique, en carbonate et en sulfate de chaux, et surtout en phosphate de chaux (Frankland), paraissent agir beaucoup moins sur les tuyaux de plomb. Les observations de Graham, de Hofmann et de Miller attribuent une action protectrice très considérable à l'acide carbonique dissous; il se forme, en effet, en présence de ce gaz, du carbonate de plomb, sel éminemment insoluble. Il paraît aussi que le plomb, au contact d'un autre métal, fer, zinc, étain, se dissout beaucoup plus rapidement en présence de l'eau; dans ces conditions, en effet, il se forme un courant galvanique. Voilà pourquoi les tuyaux en zinc, qu'on a cherché quelquefois à substituer aux tuyaux en plomb, abandonnent une quantité considérable de ce dernier métal aux eaux qui les traversent, car le zinc, employé pour les travaux de ce genre, renferme presque toujours une proportion plus ou moins forte de plomb.

La dose de ce métal qui suffit pour déterminer des accidents toxiques a été diversement estimée, mais il est certain qu'elle est très faible. Angus Smith a rapporté des cas de paralysie saturnine, occasionnés par l'usage d'une eau qui ne renfermait qu'un centième de grain de plomb par gallon, soit environ 1 milligramme par litre. Adams rapporte aussi des faits analogues. Dans le cas célèbre de la famille de Louis-Philippe à Claremont, la quantité de plomb, trouvée dans les eaux dont se servait la famille, s'élevait à 7 dixièmes de grain par gallon. Cette quantité de plomb produisit des accidents chez un tiers des personnes qui faisaient usage de ces eaux insalubres.

Mais la question reste moins simple en ce qui concerne l'emploi des tuyaux de plomb pour la conduite des eaux potables. Car à peine l'action chimique a-t-elle commencé qu'une légère couche de carbonate de chaux et de carbonate de plomb se dépose à l'intérieur des tuyaux, et le métal, n'étant plus en contact direct avec l'eau, peut servir pendant longtemps à la conduire, sans aucun inconvénient pour la santé¹, surtout lors

¹ Voyez cependant à cet égard une observation de M. Moizard. *De l'intoxication saturnine par les conduits d'eau récemment installés*. Revue d'hygiène, 1879, n° 6.

qu'on a soin de n'employer pour les usages alimentaires que de l'eau préalablement filtrée (Würtz). Il en serait autrement si l'on faisait usage d'une eau trouble, qui pourrait contenir en suspension du carbonate de plomb.

Pour combattre ces inconvénients, deux procédés sont surtout en usage. Souvent on protège l'intérieur des conduites en plomb en les recouvrant d'étain, de sulfate de plomb et de vernis divers. Aucun de ces moyens ne paraît mettre complètement à l'abri du danger. L'autre procédé consiste à employer des tubes dans lesquels le plomb est complètement éliminé. On se sert, à cet effet, de tubes en fonte ou en fer forgé, dont l'intérieur peut être recouvert d'un enduit vitreux; de tubes d'étain ou de cuivre étamé, qui sont excellents au point de vue hygiénique, mais trop dispendieux pour être généralement employés; de tubes en zinc, qui sont bientôt recouverts d'un enduit insoluble, lorsque les eaux contiennent du carbonate de chaux; enfin, de tubes en pierre, en carton-pâte, en gutta-percha, en papier bitumé. Dans certains pays, l'eau traverse des conduites en bois (Genève), mais elle contracte invariablement une saveur désagréable, due à la présence de matières organiques en décomposition. En somme, le procédé le plus irréprochable paraît consister à employer des tubes en fonte ou en fer revêtus intérieurement d'un enduit protecteur.

CHAPITRE IV

ÉTUDE DES EAUX IMPURES OU MALSAINES. — EAUX D'ÉGOUT. — EAUX INDUSTRIELLES. — EAUX DE MARAIS.

EAUX D'ÉGOUT. — Nous allons étudier successivement l'origine des eaux d'égout, leur composition; l'encombrement du lit des fleuves, l'altération de leurs eaux; enfin les divers procédés d'épuration et d'utilisation de ces eaux impures, ainsi que les principaux procédés d'application.

Origine. — Les eaux qui traversent les égouts sont dérivées d'une multitude de sources diverses et qui sont loin d'être les mêmes dans les différentes localités qui sont pourvues d'un réseau plus ou moins régulier de canaux souterrains.

Les égouts reçoivent la pluie qui vient inonder les rues en temps d'orage, les eaux ménagères provenant des habitations privées, les résidus des opérations industrielles, enfin, dans la plupart des cas, les excréments solides et liquides de la population. Dans quelques villes, les matières fécales solides ne sont pas rejetées dans les égouts, mais, partout ou presque partout, les déjections liquides finissent par y arriver. On com-

prend donc que la composition chimique de ces courants souterrains est extrêmement variable et ne présente rien de constant.

Quelquefois, en effet, l'eau des égouts est visiblement impure, dans d'autres cas elle est à peine trouble et pourrait à la rigueur passer pour l'eau d'une rivière ordinaire. Elle contient non seulement des matières en solution, mais surtout une quantité énorme de corps flottants: l'eau des égouts de Paris se fait remarquer par l'énorme quantité de bouchons qu'elle charrie.

Il n'est pas sans intérêt de donner à cet égard quelques renseignements positifs:

Composition. — D'après Letheby, l'eau des égouts de Londres présente la composition indiquée dans le tableau suivant:

GRAINS PAR GALLONS.

	JOUR.	NUIT.	ORAGES.
A. Matières solubles	55,74	65,09	70,26
— organiques	15,08	7,42	14,75
Azote	5,44	5,19	7,26
— substances minérales	40,66	57,67	55,71
Acide phosphorique	0,85	0,69	1,05
Potasse	1,21	1,15	1,61
B. Matières suspendues	58,15	15,99	51,88
— organiques	16,11	7,48	17,55
Azote	0,78	0,29	0,67
— substances minérales	22,04	6,51	14,55
Acide phosphorique	0,89	0,64	0,98
Potasse	8,08	0,64	0,16

Nous mettons en regard de la composition des eaux d'égout de Londres celle des égouts de Paris.

COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS.
RÉSUMÉ DES ANALYSES.

Le réseau des égouts de Paris se résume dans les collecteurs princi-