

# Histoire de l'eau aménagée par les hommes

---

Jacques BONNIN

## *Avant-propos*

L'histoire de l'eau aménagée par les hommes : dans ce qui suit, que devons-nous entendre par ce titre ? "*aménager*" au sens large, c'est rendre plus efficace, rendre surtout plus disponible, à tous les points de vue, ce qui ne restreint pas un sujet déjà très large. L'eau aménagée "*par les hommes*" certes, mais aussi *pour les hommes*: ceci exclut simplement les mises à disposition de l'eau purement naturelles. Quant à *l'histoire* de l'aménagement de l'eau par les hommes, elle nécessiterait de longs développements qui n'ont pas leur place ici; il nous faudra en restreindre l'étendue en précisant dans quel sens.

Tout d'abord, cette histoire serait moins *chronologique* que *raisonnée*, c'est-à-dire que les différents événements de l'histoire de l'eau seront moins reliés aux dates (toutefois souvent mentionnées)

qu'aux types de civilisations. L'homme, aussi loin qu'on sache, a vécu d'abord en nomade, puis progressivement s'est sédentarisé en inventant l'agriculture; de là s'est développé l'artisanat puis l'industrie, avec une urbanisation croissante. C'est l'ordre dans lequel on observe de façon très générale l'évolution des civilisations, bien entendu avec des transitions. C'est dans cet ordre que nous suivrons les inventions et les progrès qui ont été faits en hydraulique. D'autre part, il nous faudra par nécessité renoncer à de nombreux éléments, et de ce fait ce sera davantage une *histoire de l'apparition de la maîtrise de l'eau*, à laquelle s'ajouteront quelques points forts et, occasionnellement, un rapprochement avec la situation actuelle.

## ***1. Nomades***

### *Repérage des points d'eau*

Nous ne savons pas grand chose des nomades de notre préhistoire, qui n'ont pas laissé de documents ni de monuments. Mais nous avons la chance de voir près de nous des civilisations préhistoriques actuelles, présentes, dont un des meilleurs exemples est la civilisation aborigène du centre de l'Australie, où une bonne partie de la population n'a encore jamais rencontré d'hommes blancs. Dans la région de Yulara, au pied du Mont Uluru, que les Australiens modernes appellent maintenant Ayers Rock, on peut voir une grotte décorée de peintures rupestres qui donnent aux nomades des indications précieuses sur la position des points d'eau voisins, sous forme de cercles concentriques et de groupes de cercles. De telles peintures ont encore été faites jusqu'à la dernière guerre et peut-être même depuis, mais nous n'en avons pas la preuve; celles-ci sont relativement récentes. Voilà un premier aménagement qui consistait à indiquer aux autres hommes où ils allaient trouver de l'eau.

### *Aménagement des points d'eau*

Une civilisation sur laquelle nous sommes beaucoup mieux documentés, en particulier par la Bible, est celle du peuple d'Abraham se déplaçant depuis Ur en Chaldée jusqu'en Egypte avant de se fixer en

Israël. Pour alimenter la population et ses troupeaux en eau, existaient de véritables aménagements des points d'eau; les textes nous parlent de puits ou de citernes - sans toujours bien les différencier, au grand regret des spécialistes de l'hydraulique. Le chapitre 21 de la Genèse nous dit que le Puits du Serment, qui s'appelait en hébreu Beer Sheva et a donné son nom à la ville éponyme, fut l'objet d'un cadeau de sept brebis à Abimelec. Il fut creusé par Abraham, et l'on voit encore sur les parois des traces d'usure dues aux cordes qui servaient au puisage. Les commentateurs de la Bible précisent que :

*"lorsque le campement était levé, on recouvrait l'orifice du puits de larges dalles et on répandait au-dessus une légère couche de terre, afin de rendre l'emplacement invisible aux Bédouins pillards, toujours prêts à détruire ou à souiller, par pure méchanceté. Si l'ouverture du puits était de dimensions réduites, on ne manquait pas, au cours de la journée, de la boucher à l'aide d'une pierre pesante que, le soir venu, on écartait, à l'arrivée des troupeaux".*

D'autres puits ont été creusés bien avant, dans différentes régions du globe. Ainsi on a retrouvé à Vinça, dans la région de Belgrade, un puits qui a pu être daté par le carbone 14 à environ 4240 avant notre ère. D'autre part en Mésopotamie, avant l'invention de l'écriture cunéiforme, c'est-à-dire vraisemblablement dans le courant du 4ème millénaire avant notre ère, il y avait une écriture idéographique dont un des signes représentait un puits.

Pour creuser à bon escient, nos ancêtres - nomades comme sédentaires - avaient quelques recettes, parfois étonnantes. Certaines nous ont été transmises, par exemple par Vitruve, qui écrit

*"Pour connaître les lieux où il y a de l'eau, il faut, un peu avant le lever du soleil, se coucher sur le ventre, ayant le menton appuyé sur la terre où l'on cherche de l'eau, et regarder le long de la campagne; car le menton étant ainsi affermi, la vue ne s'élèvera point plus haut qu'il n'est nécessaire; mais assurément elle s'étendra au niveau : et si l'on voit en quelque endroit une vapeur humide s'élever en ondoyant, il y faudra fouiller; car cela n'arrive point aux lieux qui sont sans eau".*

## 2. Sédentaires ruraux

Assez étroitement liée à la sédentarisation, l'agriculture a provoqué quantité d'aménagements de l'eau, que ce soit pour irriguer les cultures, drainer le sol, le bonifier - et les canaux d'irrigation eux-mêmes ont servi au transport -.

### Irrigation

Les premiers agriculteurs ont développé leur art essentiellement dans des pays relativement chauds et peu arrosés par les pluies. Probablement aussi intelligents et responsables que nous, ils se sont très vite aperçu que, en arrosant leurs cultures, en les *irriguant*, ils en augmentaient de façon très appréciable le rendement. C'est ainsi qu'est née l'*irrigation* dans une foule de pays : l'Egypte, la Mésopotamie, la Chine, l'Inde et Ceylan, etc... D'Egypte nous vient une masse d'arme de cérémonie, qui se trouve au musée Ashmolean d'Oxford, objet initialement guerrier, devenu rituel et symbole de puissance. C'est une masse en calcaire d'une trentaine de centimètres sur laquelle on voit un personnage coiffé d'un bonnet, le roi Scorpion, en train de creuser une brèche dans une digue. Ainsi, symboliquement et institutionnellement, et même religieusement puisque à l'époque les deux pouvoirs étaient confondus, il inaugurerait, pour toute l'Egypte, la saison des irrigations.

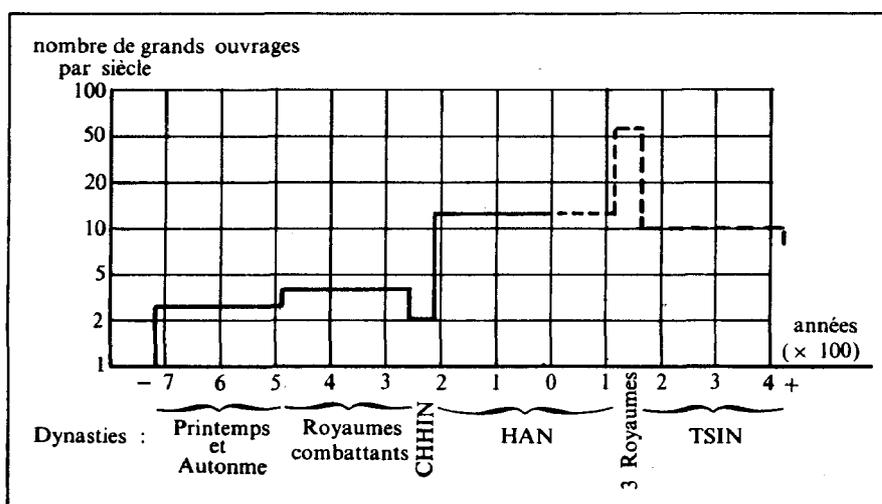


Figure 1 Évolution des grands travaux d'irrigation dans la Chine antique.

La figure représente, suivant une échelle logarithmique, le nombre de grands travaux d'irrigation exécutés par siècle sous différentes dynasties, pendant plus d'un millénaire, dont les trois quarts avant notre ère. On notera une action déjà significative pendant plus de cinq siècles, avec 2 à 3,5 grands ouvrages par siècle, suivie d'un « boom » à l'avènement des Han, où pendant six siècles et demi l'activité constructive n'est jamais inférieure à 10 ouvrages par siècle, et atteint même temporairement 55.

A l'autre bout du monde, on peut voir, sur la figure 1, l'évolution des grands travaux d'irrigation en Chine pendant environ 1100 ans, dont la plus grande partie avant notre ère. Les ordonnées, logarithmiques, donnent le nombre de grands travaux exécutés par siècle, en fonction du temps. On notera que, dès le 7ème siècle avant notre ère, on accomplissait 2 à 3 grands ouvrages d'irrigation chaque siècle dans l'empire Chinois. A partir de l'avènement des Han, ce chiffre passe à plus de 10 et, exceptionnellement, à l'époque des trois royaumes cette activité atteint 55 grands ouvrages par siècle.

### Captages

Pour pouvoir irriguer, il fallait capter l'eau, par différents moyens : nous avons noté les puits dont le principe est très bien exposé dans la contribution de M. de Marsily. La figure 2 montre ce qu'on a appelé un qanat : c'est une sorte de drain, ou de puits presque horizontal; la galerie, vue en coupe, est creusée depuis le sol en montant très légèrement, jusqu'à ce qu'elle rencontre la nappe phréatique, c'est-à-dire la couche du sol où se trouve l'eau. Ainsi l'eau, captée grâce à la légère pente de la galerie, s'écoule vers l'extérieur où elle sert à l'irrigation. Ce dispositif, toujours utilisé, existe depuis une trentaine de siècles; on en trouve par exemple en Afrique du Nord, et on peut en voir, repérés par les puits qui ont servi à les forer, en survolant l'Irak ou l'Iran.

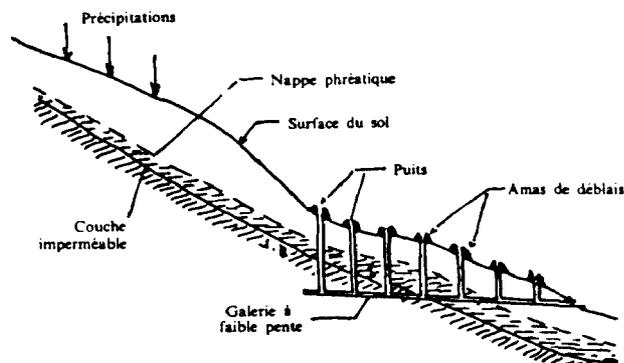


Figure 2  
Coupe longitudinale d'un qanat

Les puits et la galerie captent l'eau de la nappe aquifère ; les amas de déblais en tête de chaque puits rendent l'ouvrage aisément repérable.

Accumulation : barrages

Il n'est pas rare que l'eau soit disponible à des périodes différentes de celles où l'on voudrait s'en servir; il faut alors faire des réserves, en construisant des *barrages*. Ces ouvrages sont certainement très anciens; nous ne connaissons jamais les premiers : ils étaient petits, très probablement en terre ou en un mélange de terre et de bois, et n'ont pas laissé de traces. Mais on a retrouvé des relations écrites ou sur le terrain des vestiges de barrages extrêmement anciens, jusqu'à 3000 ans avant notre ère.

La figure 3 donne, pour ceux pour lesquels on peut retrouver des données chiffrées pendant les 3000 ans qui précèdent notre ère, la hauteur en fonction de la date de construction. On a connaissance, dès 2900 avant J.-C., du barrage de Kosheish, haut de 15 mètres. Mais peu après s'est produit un grave accident au barrage de Saad el Kafara, qui avait une hauteur de 12 mètres et fut construit en 2850 avant J.-C. sur un affluent du Nil; ce barrage a cédé sous la pression des eaux, à cause d'une grave erreur de conception, l'absence de ce que les spécialistes appellent un *évacuateur de crue*. Ainsi, lors de l'arrivée d'une crue, elle a déversé sur le barrage et l'a détruit; il y a eu de nombreux morts. Conséquence visible : en observant l'évolution des hauteurs de barrages pendant non seulement les siècles mais les millé-

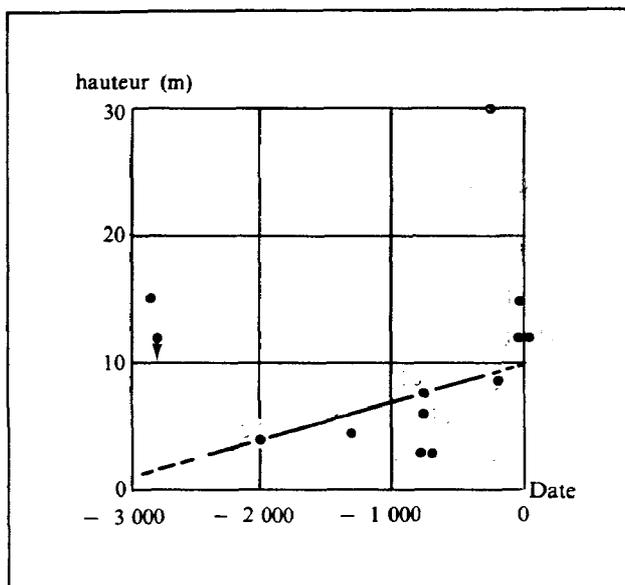


Figure 3  
Hauteurs maximales des barrages au cours du temps

L'accident survenu probablement vers 2850 a dû entraîner une extrême prudence pendant deux millénaires et demi. Seule une amélioration des connaissances et des techniques a pu permettre une croissance rapide dans les derniers siècles avant notre ère.

naires qui ont suivi, on note que pendant environ 2 millénaires et demi on n'a jamais construit un barrage aussi haut que les précédents. Et, semble-t-il, en Egypte où s'était produit l'accident, aucun barrage n'aurait été construit pendant les 1500 ans qui ont suivi.

De manière analogue, si un accident comme celui récemment survenu à Tchernobyl avait été beaucoup plus grave, quel coup d'arrêt ne porterions-nous pas, par souci de responsabilité scientifique, à l'évolution de notre programme nucléaire ?

Les procédés de construction de ces barrages sont intéressants. Le plus souvent ils comportaient un épais noyau soit en terre, soit en briques d'argile, entouré d'une carcasse en pierre. L'un de ces barrages, particulièrement original, est schématisé sur la figure 4 : c'est le barrage de Cornalvo, construit en Espagne vers l'an 25 avant notre ère. Dans ce barrage, la terre est maintenue en place par une structure croisillonnée en maçonnerie, ce qui permet de diminuer beaucoup le volume de terre à mettre en place.

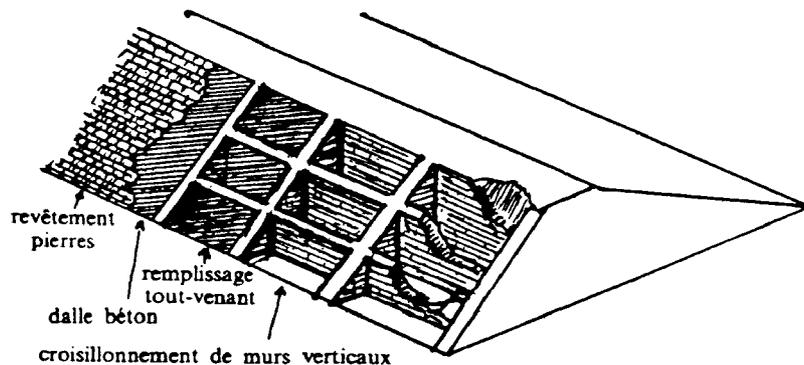


Figure 4  
Principe de construction du barrage de Cornalvo

La structure croisillonnée en maçonnerie maintient en place le remplissage ; elle retarderait sinon empêcherait la ruine de l'ouvrage en cas de déversement.

### Transport de l'eau : canaux

Quand on a capté l'eau, su la mettre en réserve, il faut encore pour irriguer la transporter jusqu'au lieu des cultures. Les canaux de transport ne sont jamais qu'une transposition artificielle des rivières que les hommes observaient depuis toujours. Ils ont été construits de très longue date. Le plus ancien qui soit mentionné, d'ailleurs con-

testé, est présenté par un archéologue, Evenari; ce serait un canal d'irrigation d'une quinzaine de kilomètres de longueur alimentant les cultures autour de la ville de Jericho, qui aurait été creusé vers l'an 7000 avant notre ère. D'autres canaux beaucoup mieux attestés ont été réalisés un peu dans tous les pays du monde, par exemple en Egypte, en Mésopotamie, en Chine, etc.

### Législation

Ces grands travaux ont été exécutés sous des régimes forts et avec, bien entendu, l'établissement d'une législation adaptée à la construction, à l'exploitation et à l'entretien des ouvrages. Le plus grand législateur antique connu est le célèbre Hammourabi. La fameuse stèle du code d'Hammourabi, au Musée du Louvre, en caractères cunéiformes, réunit un ensemble de lois, certaines déjà anciennes, d'autres nouvelles pour l'époque d'Hammourabi - le 18ème siècle avant notre ère. Parmi ces lois, il y en a sept qui sont directement relatives à l'hydraulique. Voici parmi elles les articles 53, 54 et 55 de ce code :

*Article 53. Si un homme, négligent à fortifier sa digue, n'a pas fortifié sa digue, et si une brèche s'est produite dans sa digue, et si le canton a été inondé d'eau, l'homme sur la digue de qui une brèche s'est ouverte, restituera le blé qu'il a détruit.*

*Article 54. S'il ne peut restituer le blé, on vendra son avoir et sa personne pour de l'argent, et les gens des cantons dont l'eau a emporté le blé se partageront.*

*Article 55. Si un homme a ouvert sa rigole pour irriguer, puis a été négligent, si le champ limitrophe est inondé d'eau, il mesurera du blé selon le rendement du voisin.*

### Machines élévatrices

Très prévoyant Hammourabi : un peu avant la fin de ce code on trouve deux articles prouvant l'existence de machines élévatrices. En effet, il faut, lorsque l'eau est dans la rigole au pied du champ, pouvoir la relever pour irriguer soit en manipulant des seaux ou mieux, au moyen de machines un peu plus perfectionnées. L'article 260 du code Hammourabi dit :

Article 260. "Si un homme a volé un chadouf (...) il donnera 3 sicles d'argent (20g) au maître de la machine".

Le chadouf est une machine très simple, rudimentaire : un seau équilibré par un contre-poids, grâce à un grand levier. C'est un perfectionnement qui permet d'économiser le travail humain et donc de puiser l'eau à moindres frais. Cet appareil, encore utilisé de nos jours, apparaît sur un sceau akkadien dès le milieu du 3ème millénaire. Mais l'article précédent est encore plus instructif :

Article 259. "Si un homme a volé une roue d'arrosage dans les champs, il donnera 5 sicles d'argent (30g) au maître de la machine".

Ces deux articles nous prouvent d'une part que les cultivateurs de la Mésopotamie au 18ème siècle avant notre ère n'étaient pas d'une foncière honnêteté, puisqu'on prévoyait la punition des vols, mais également que, comme le chadouf, la roue élévatoire, élevant des godets remplis d'eau, était déjà d'un usage courant à cette époque.

Bien d'autres machines hydrauliques ont été inventées par nos lointains ancêtres : une roue hydraulique élévatoire mais entraînée par le courant d'eau; on leur doit aussi la vis d'Archimède, machine encore utilisée à la fin de notre XXème siècle (Archimède l'aurait seulement perfectionnée, elle aurait été inventée par Archytas de Tarente un siècle et demi plus tôt).

Une autre machine semble être typique du monde romain et ne pas s'être répandue au dehors : c'est un *tympan*, sorte de cylindre dont l'intérieur est divisé en compartiments en forme de secteurs qui se remplissent d'eau et refoulent cette eau dans l'arbre creux de la machine, qui permet ainsi d'assez gros débits mais seulement à de faibles hauteurs.

Citons enfin la plus performante des machines hydrauliques anciennes, inventée par le grec Ktésibios il y a plus de 2000 ans : c'est une pompe à piston à deux corps, c'est-à-dire deux cylindres. Comme dans les pompes modernes, chaque cylindre comporte deux clapets,

pour l'aspiration et le refoulement; l'utilisation de deux cylindres avec un levier qui leur donnait des mouvements symétriques permet de diminuer l'irrégularité du débit. Ces pompes permettaient de pomper de l'eau jusqu'à 100 et même 200 mètres de hauteur et elles ont été utilisées par les Romains comme pompes à incendie.

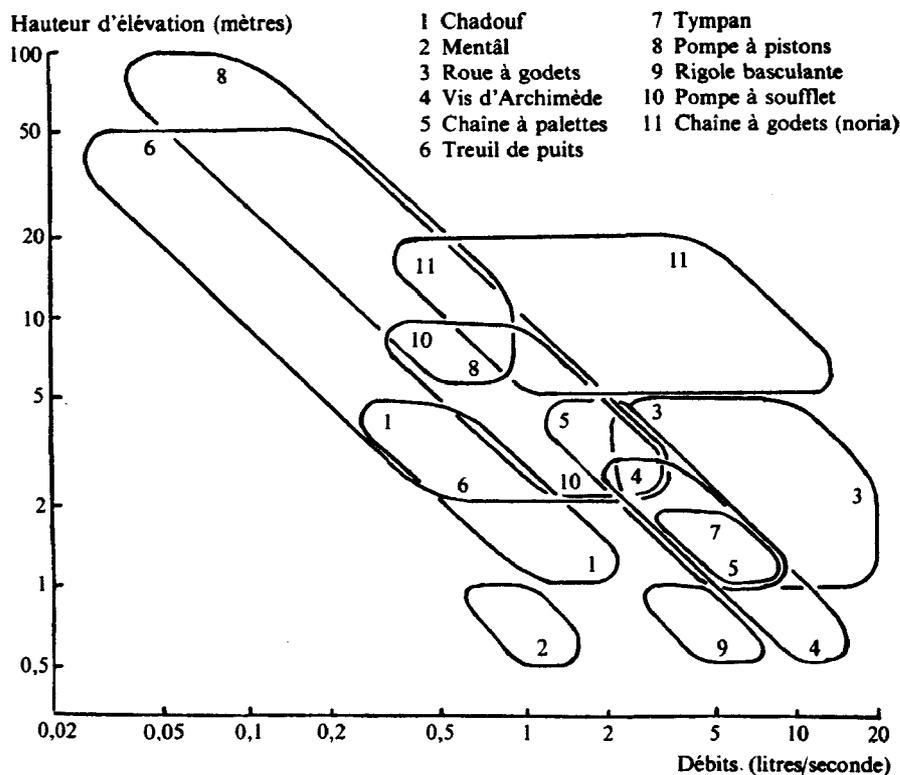


Figure 5  
Performances des machines élévatoires antiques

Les performances des machines élévatoires figurées sur ce diagramme sont très approximatives; elles dépendent en particulier d'hypothèses arbitraires sur leur rendement et sur le nombre d'hommes ou d'animaux qui pouvaient les entraîner.

La figure 5 montre les caractéristiques - très approximatives - des machines hydrauliques élévatoires de l'antiquité. Elle porte en coordonnées logarithmiques les débits et les hauteurs d'élévation; chacun des tracés représente le domaine d'utilisation d'une des machines : il y a 2000 ans on pouvait déjà en identifier 11 types différents actionnées soit par l'homme, soit par des animaux.

### Mesures

Voulant se sentir *scientifiquement responsables* de ce qu'ils faisaient de l'eau, et en particulier d'être capables d'en prévoir l'uti-

lisation, les hommes ont très vite éprouvé le besoin de faire des mesures. En Egypte, l'économie du pays reposait essentiellement sur la régularité des crues du Nil; il était donc très important de connaître l'arrivée de ces crues et leur importance. Aussi a-t-on très tôt inventé un appareil très simple appelé *Nilomètre* : c'était en fait une échelle de mesure permettant de repérer le niveau du fleuve. On pense que les premiers ont été en service il y a déjà 5000 ans; à la deuxième cataracte du Nil, des nilomètres ont été exploités régulièrement depuis 1800 avant notre ère.

Un autre type de mesure concernait les pluies et permettait de prévoir bien avant la montée du niveau du fleuve l'importance de la récolte. De telles mesures ont été effectuées au 4ème siècle avant notre ère dans le royaume du Kantila en Inde. Les mesures de pluie servaient alors de base à un régime fiscal qui taxait les agriculteurs.

#### *Drainage et bonification*

Réaliser des ouvrages d'irrigation, les exploiter, les entretenir correctement, ne suffit souvent pas. Si l'on irrigue trop on compromet la récolte; si l'on irrigue avec des eaux un peu salines, et c'est le cas de l'Euphrate et du Tigre, le sel se dépose dans la terre et le rendement des cultures diminue. Dès que la quantité de sel dans le sol atteint 0,2 % on sent une baisse de rendement, à 0,5 % elle devient très appréciable et, entre 2 et 5 % il ne pousse pratiquement plus rien. On a observé entre le 3ème et le 2ème millénaire, en Mésopotamie, que sur certains terrains, sur un laps de temps de 700 ans, le rendement des céréales avait été divisé par trois. Pour y porter remède, il faut irriguer en excès et retirer l'eau à mesure, de façon qu'elle entraîne le sel avec elle. D'où la nécessité de pratiquer un *drainage*, ce qui fut fait de façon très ancienne. Ainsi un auteur du siècle dernier, Jaubert de Passa, dans un livre intitulé "Les recherches sur les arrosages des peuples anciens", nous dit :

*"Les premiers canaux creusés par la main de l'homme furent incontestablement, en Chine, des canaux de dessèchement".*

D'autre part, chez les Romains, Columelle, le grand astronome du 1er siècle avant notre ère, nous dit :

*"Si le sol est humide, il faudra faire des fossés pour le dessécher et donner de l'écoulement aux eaux. Nous connaissons deux espèces de fossés : ceux qui sont cachés et ceux qui sont larges et ouverts..."*

Et il continue pendant tout un chapitre.

On a aussi cherché à *bonifier* les sols en leur apportant, à l'exemple du Nil, un limon fertilisant. Les Egyptiens, bien entendu, avaient observé les premiers cette qualité de leur fleuve (nous pouvons d'ailleurs considérer comme une erreur grave le fait d'avoir barré le Nil il y a quelques dizaines d'années à Assouan en supprimant cet apport fertilisant). En Chine également le fait était connu; une chanson paysanne chinoise du 5ème siècle avant notre ère disait :

*"Un tan d'eau de la Ching contient beaucoup de limon, il irrigue et fertilise; il fait croître votre récolte, il nourrit des millions d'êtres dans la capitale".*

### *Transport*

Mentionnons une dernière utilité des ouvrages d'irrigation: les canaux importants ont également servi au transport. Ainsi en Chine, au 2ème siècle avant notre ère, le grand historien chinois Szu-Ma Ts'ien écrivait :

*"Tous ces canaux étaient utilisés pour le passage des bateaux, et, s'il y avait assez d'eau, pour l'irrigation".*

L'interprétation qu'il faut donner à cette citation doit être prudente : plutôt que de considérer que le transport fluvial était prioritaire sur l'irrigation, on peut penser que, lorsqu'il y avait peu d'eau, les canaux pouvaient demeurer fermés, pleins et parfaitement aptes à la navigation; en revanche c'est seulement quand le débit des cours d'eau était suffisant que l'on pouvait faire débiter les canaux vers les zones de culture, quitte à gêner un peu la navigation. A titre

d'exemple concernant la Chine, citons, parmi les nombreux canaux servant à la fois à l'irrigation et au transport, un ensemble remarquable qui s'étendait du Nord au Sud de la Chine il y a 2000 ans sur 2000 km. Dans ce réseau un des canaux, réputé, a pour nom le *Canal de la Corne d'Abondance*. La section transversale de ce canal, suivant les endroits et suivant le niveau était de 100 à 200 m<sup>2</sup>; d'où son aptitude à transporter les bateaux déjà importants. Soulignons que le nom de ce canal pouvait être interprété à double sens : en effet, il apportait l'eau aux irrigations et permettait donc d'enrichir la terre et les cultures, mais, en même temps, par voie de navigation fluviale, ce canal rapportait à la ville les taxes sous forme de grain prélevées sur les paysans.

### ***3. Civilisations urbaines***

L'urbanisation, concentration d'habitations, de travailleurs déjà plus ou moins spécialisés, a créé de nouveaux problèmes d'hydraulique : problèmes d'alimentation nés de cette concentration, problèmes d'assainissement et parfois de protection contre les crues.

#### ***Alimentation***

Le fait que les hommes se soient regroupés a rendu nécessaire de les fournir en eau dans des conditions où parfois le prélèvement par simples puits sur place ne suffisait pas toujours.

#### **Captage et qualité de l'eau**

Pour les captages, on s'est inspiré des solutions qui avaient déjà servi pour l'irrigation, mais on en a également créé de nouvelles. Hippocrate de Cos, le plus connu des médecins antiques, écrivait déjà au -Vème siècle :

*"Une bonne eau... doit être limpide, légère, aérée, sans odeur ni saveur sensibles, chaude en hiver et froide en été".*

A part les précisions sur la température, ce sont exactement les qualités que l'on exige aujourd'hui; on les rencontre soit dans certaines eaux

de source, soit, à défaut, bien souvent dans les eaux de pluie. Aussi l'urbanisation a-t-elle permis, en récoltant l'eau qui tombait sur les toitures, de faire des réserves, qui posent un problème de bilan. Même dans les pays où les pluies ne sont pas abondantes, comme c'était le cas pour ceux qui ont vu naître les premières grandes civilisations, cette collecte est d'un grand secours. Une précipitation de 20 cm par an, ce qui est très peu, de 50 cm ce qui est mieux mais encore pas énorme, permet, si elle est récoltée tout au long de l'année sur les toitures, sur éventuellement la cour dallée d'une maison, de recueillir suffisamment d'eau pour alimenter les personnes qui y habitent, si elles se contentent de quelques dizaines de litres par jour, et non pas du millier de litres et au-delà, exigences actuelles mentionnées dans la contribution de M. Cruette. Cette collecte des pluies a été facilitée par l'invention du *compluvium*, disposition des toitures faisant converger l'eau vers le centre du bâtiment.

### Citernes

Pline l'Ancien (comme d'ailleurs Vitruve) précise comment construire ces citernes :

*"Les citernes doivent être construites avec 5 parties de sable pur et granuleux, 2 de chaux la plus vive et avec des fragments de silex ne dépassant pas le poids d'une livre; ainsi fait, il faut en marteler également le fond et les parois avec des pilons ferrés. Il est préférable que les citernes soient accouplées de façon que les impuretés se déposent dans la première et que, par un filtre, l'eau arrive pure dans la suivante".*

Une quantité de villes ont eu dans leurs maisons des citernes dont le volume était adapté à la consommation des habitants et à la durée que l'on pouvait attendre entre deux pluies. En bien des endroits, et en particulier dans les zones méditerranéennes, il n'est pas exceptionnel de rester 4, 5 voire 6 mois sans pluie. Ainsi par exemple à Délos la quasi-totalité des maisons d'époque hellénistique ont une grande citerne. Il en était de même dans les maisons carthaginoises de Sardaigne, dans les villes de Nora ou de Tharros.

### Transport : aqueducs

Pour transporter l'eau depuis les captages éloignés, nos ancêtres ont amélioré les simples canaux utilisés pour l'irrigation, en constituant des *aqueducs*; ce ne sont pas uniquement de hautes arches dont on connaît nombre de vestiges, mais étymologiquement, des ouvrages destinés à *conduire l'eau* par un canal, sur leur plus grande longueur, mais comportant aussi des tunnels, des tuyaux formant ce que l'on appelle un *siphon inversé* ou plus brièvement un *siphon*, et des passages surélevés sur des arcades.

Un exemple de travaux anciens d'adduction est au Musée du Louvre, c'est le disque de Mari, en réalité ce que les archéologues appellent un *clou de fondation*, dont on a seulement la tête. Il a été gravé sous les ordres du roi Yadhun Lim, qui régnait à Mari entre 1825 et 1810 avant notre ère, en caractères cunéiformes et dit :

"...je fis perdre à mon pays l'habitude d'aller puiser l'eau..."

Malgré ce texte, au siècle suivant, on trouve dans les archives de Mari, dans l'énumération du nombreux personnel, beaucoup de "paiseuses d'eau", ce qui met donc en doute la totale efficacité des ouvrages.

Un autre exemple, très particulier, est entièrement souterrain, pour des raisons stratégiques (car la guerre a eu, elle aussi, une grande influence sur les travaux hydrauliques). La figure 6 donne le tracé en plan, très contourné, d'un tunnel creusé en 702 avant J.C. sous la colline Ophel à Jérusalem, où régnait alors Ezéchias. Celui-ci apprit que le roi Sennacherib (lui-même grand entrepreneur de travaux hydrauliques - il avait fait construire un aqueduc de plus de 50 km pour alimenter la ville de Ninive) allait mettre le siège devant Jérusalem. A l'époque Jérusalem était essentiellement alimentée par la source ou fontaine de Gihon, se déversant dans la fameuse piscine de Siloé par un canal à l'air libre qui passait en dehors de la ville, donc essentiellement vulnérable en cas de siège. Ezéchias entreprit de faire creuser un tunnel de plus de 500 mètres de long à travers la montagne tout en murant la source, de façon que Sennacherib ne trouve pas d'eau pour ses troupes et que Jérusalem soit alimentée quoiqu'il arrive.

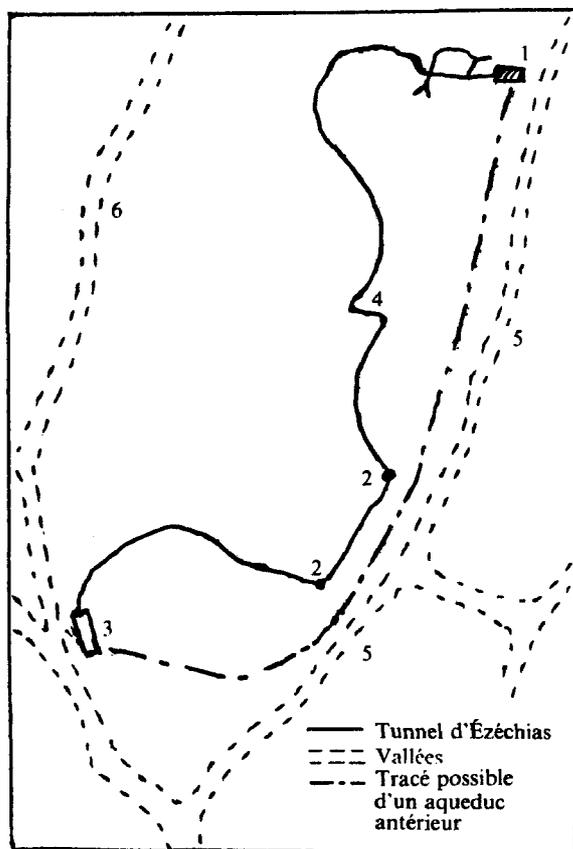


Figure 6  
Tracé du tunnel reliant à Jérusalem la source Gihon  
à la piscine Siloé

- 1 Fontaine de Gihon
- 2, 2 Puits
- 3 Piscine de Siloé
- 4 Point de jonction (fin du percement)
- 5, 5 Vallée du Cédron
- 6 Vallée du Tyropoéon

Ce tunnel (figure 6) a été creusé en trois mois par deux équipes d'ouvriers qui l'ont attaqué par les deux extrémités. Et c'est moins à cette double attaque qu'il doit son tracé contourné qu'à une double nécessité : éviter de déboucher dans le relief et surtout de profaner les tombes des rois.

La figure 7 montre, toujours à Jérusalem, l'ensemble des aqueducs qui existaient à l'époque du Christ. Il faut souligner en particulier une immense réserve d'eau qui palliait l'irrégularité des sources, et qui est connue sous le nom d'étangs de Salomon, visibles dans les environs d'Hébron (en fait bien postérieurs à l'époque du roi Salomon).

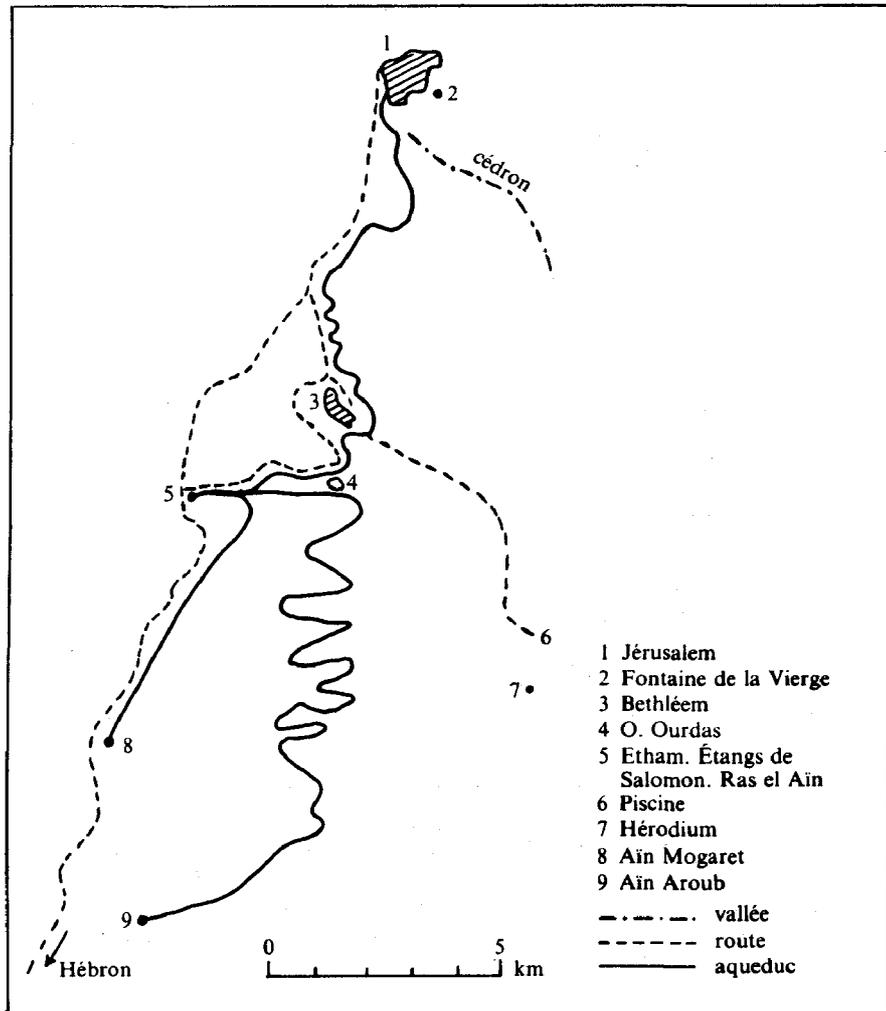


Figure 7  
 Les aqueducs antiques de Jérusalem

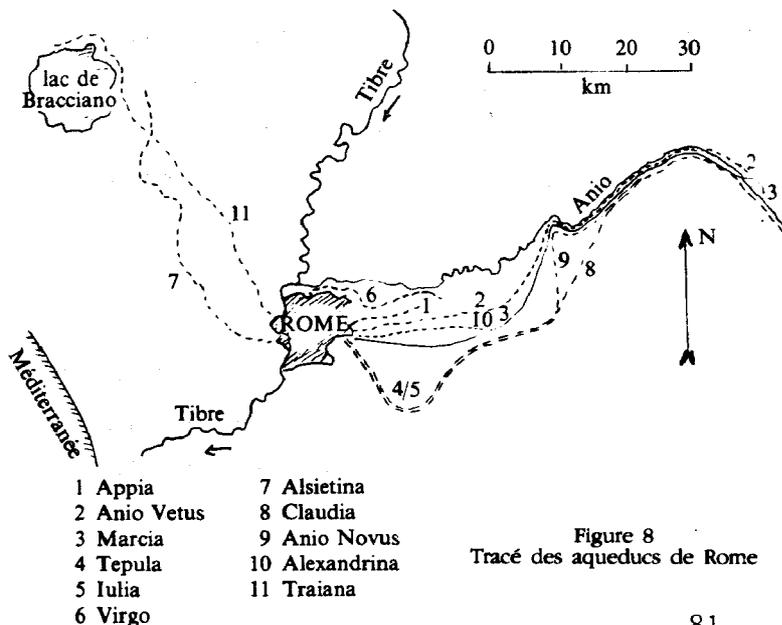


Figure 8  
 Tracé des aqueducs de Rome

La figure 8 montre un réseau d'aqueducs considérés comme l'apogée de l'alimentation des villes dans l'antiquité : c'est le tracé de 11 aqueducs alimentant la ville de Rome. Les premiers n'amenaient guère l'eau que d'une quinzaine de kilomètres, les derniers de 90 km. Le débit de ces aqueducs a été compris entre 18.000 m<sup>3</sup> par jour et 190.000 m<sup>3</sup> par jour; ces aqueducs ont alimenté à peu près toute la ville éternelle.

relatif. Ce rapport est d'autant plus fort que l'aqueduc est plus élevé; en moyenne il est à peu près égal à la hauteur de l'aqueduc exprimée en mètres. On diminue cette contrainte en superposant deux (et même trois) aqueducs sur le même ouvrage d'art.

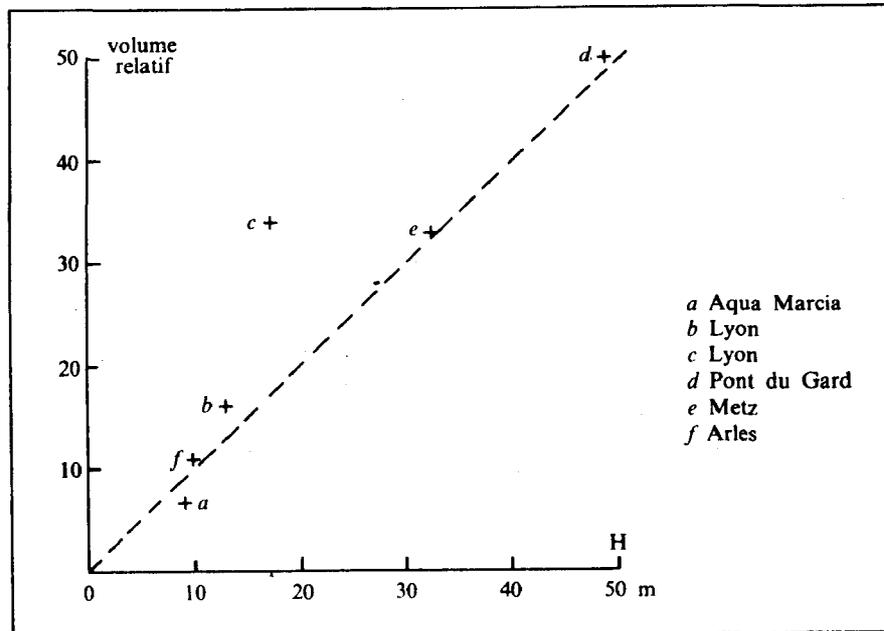


Figure 10  
Volume relatif de quelques aqueducs

(rapport entre le volume de pierres et celui du canal transportant l'eau).

Ce rapport est bien entendu croissant avec la hauteur de l'aqueduc. On notera que, en moyenne, il est égal à la hauteur exprimée en mètres (droite en tirets). Par rapport à cette moyenne on remarquera certains aqueducs plus (a) ou moins (c) économiques en matériaux.

Le plus fameux aqueduc sur arcades est le Pont du Gard, formé de trois ponts superposés; il contribuait à alimenter la ville de Nîmes, avec un débit de 20.000 m<sup>3</sup> par jour. C'est le plus haut des ouvrages d'adduction d'eau que l'on connaisse, avec une hauteur de 48,77 m; sa longueur est de 275 m; il a été construit avec de magnifiques pierres taillées en assises très hautes d'environ 57 cm d'épaisseur : les blocs atteignent jusqu'à 6 tonnes, résultat d'un compromis entre le travail de taille et celui de transport. Il porte à la partie supérieure un canal de 1,67 m de haut et 1,22 m de large; mais à l'usage le dépôt calcaire a, par endroits, atteint les 2/3 de cette largeur.

### Distribution

L'aqueduc amenait l'eau, à l'entrée même de Nîmes, dans un *castellum divisorium*, c'est-à-dire un château d'eau de répartition, d'où partaient des paires de tuyaux de 40 cm de diamètre en plomb alimentant différentes catégories de consommateurs. Dans certaines villes romaines, il y avait pour chaque quartier non pas deux mais trois tuyaux différents, de façon à répartir la consommation entre différentes catégories de consommateurs dont certaines pouvaient être prioritaires.

Les réseaux de distribution ont nécessité la mise en oeuvre de beaucoup de tuyaux - déjà utilisés, localement, pour l'adduction. Les plus répandus étaient en terre cuite, les plus appréciés de Vitruve qui écrivait :

*"Au reste, pour une adduction à partir d'une source, ce qu'il y a de mieux, ce sont les tuyaux en poterie de deux doigts de diamètre, dont les joints s'emboîtent, de sorte que celui du haut pénètre (dans celui du bas), et sont enduits de chaux vive détrempée d'huile".*

Plus tard les Romains ont répandu les tuyaux de plomb, parfois nuisibles pour la santé. Un très beau spécimen de tuyau en terre cuite se trouve à Londres, au British Museum : il a une trentaine de centimètres de long, une vingtaine de diamètre, des bourrelets de renfort à ses extrémités, mais ne permettant pas le raccord par emboîtement. Trouvé à Ur en Chaldée, il porte une très intéressante inscription en caractères cunéiformes donnant le nom et les titres du roi Sulgi ce qui permet de le dater à environ 2050 avant notre ère. D'autres tuyaux en poterie, du 2ème millénaire, ont été trouvés, par exemple à Troie, en Crète, etc...

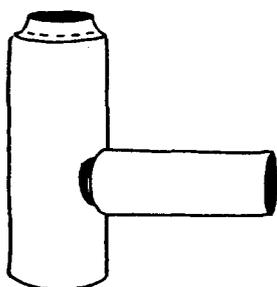
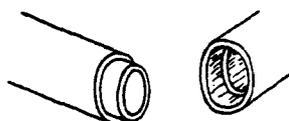


Figure 11  
Tuyaux étrusques à Marzabotto  
Trouvés dans la ville étrusque de Marzabotto, près de Bologne, ces éléments de tuyaux en terre cuite montrent comment, il y a vingt-cinq siècles, on les assemblait, soit bout à bout avec emboîtement, soit en dérivation (jonction en T); une pâte plastique (argile, matières grasses) en assurait l'étanchéité.

Cependant les tuyaux romains étaient pour beaucoup en plomb, plus résistant et plus étanche; on les roulait à partir de grandes plaques obtenues par coulée en fonderie et portant souvent des caractères qui donnaient des indications, soit le nom du constructeur du tuyau (marque de fabrication) soit celui du propriétaire de la canalisation. Leurs diamètres étaient normalisés. (Signalons que, avant les Romains, les Grecs avaient fabriqué, comme à Pergame, des tuyaux de plomb résistant à une pression de 20 atmosphères). Même à l'époque romaine, il était absolument exceptionnel que l'on distribue l'eau dans les étages. On en voit toutefois un exemple dans une maison de Pompéi.

#### Utilisation de l'eau

La distribution, mais aussi les équipements d'utilisation, comportaient non seulement des tuyaux, mais aussi des robinets, le plus souvent en bronze, du type robinet à boisseau. Leurs diamètres étaient également normalisés. Certains, vieux de 20 siècles, fonctionnent encore.

Après avoir amené l'eau on l'utilisait de façon soit utile, soit agréable : fontaines (simples ou luxueuses, voire grandioses), bains publics et privés, douches, latrines etc... ont été retrouvés un peu partout.

#### *Assainissement*

Quand on a utilisé l'eau, on ne l'a pas consommé même si on l'a bue; on rend donc de l'eau polluée qu'il faut évacuer. Le problème de *l'assainissement*, c'est-à-dire de l'évacuation des eaux que les techniciens appellent des *eaux usées* et souvent en même temps des eaux de pluies, est né avec l'urbanisation; il répond à un souci - responsable - d'hygiène comme de confort. Le plus bel exemple d'égout antique est celui de la Cloaca Maxima, creusée à Rome par les Etrusques; mais on connaît des égouts beaucoup plus anciens, comme dans les civilisations de l'Indus, en Crète etc... Les villes grecques, carthaginoises, étrusques, par exemple, disposaient de réseaux d'égouts très efficaces.

### *Protection contre les crues*

Les villes construites au voisinage des fleuves ont nécessité une protection contre leurs crues, en particulier lorsque le niveau moyen du fleuve s'élevait lentement, de siècle en siècle, par suite du dépôt des alluvions. Il semble que ce fut le cas sur les rives de l'Euphrate, pour la ville de Sippar, où une digue aurait été élevée, peut-être par Hammourabi, au -XVIIIème siècle.

### *Législation*

L'urbanisation a nécessité des progrès dans la législation; ainsi Platon, dans son ouvrage "les Lois" dit (pour la ville de Thasos):

*"que celui qui voudra conduire une voie d'eau jusqu'à son champ le fasse (depuis) les sources publiques, sans intercepter les sources jaillissantes d'aucun particulier; (...) éviter de la faire passer par les maisons, temples et monuments".*

Voilà qui nécessitait de légiférer. On ne saurait passer sous silence une loi, vieille de 20 siècles, visant à protéger la qualité de l'eau d'alimentation; on en trouve le texte dans les commentaires de Frontin (qui était le Curateur des eaux de Rome au 1er siècle de notre ère).

*"Il est défendu à qui que ce soit de corrompre l'eau qui coule pour le public; si quelqu'un est convaincu de l'avoir fait de dessein prémédité, qu'il soit condamné à 10.000 sesterces d'amende".*

Cette amende était, pour l'époque, une somme énorme. Ajoutons, ce qui figure ailleurs, qu'une part de l'amende était reversée au délateur...

## **4. Maîtrise de l'eau et responsabilité scientifique**

### *Théorie et pratique*

Nous ne saurions ici mieux conclure qu'en examinant cette maîtrise de l'eau, autrefois et aujourd'hui, sous un angle de responsabilité scientifique.

Y a-t-il eu chez nos ancêtres un souci de comparer la théorie et la pratique ? Certainement, mais pas toujours avec succès. La statique des fluides peut paraître facile, mais il a fallu le génie d'Archimède pour énoncer et démontrer les théorèmes de statique, relatifs non seulement à la *flottabilité* mais aussi à la *stabilité* des corps flottants. Citons au moins, à titre d'exemple, sa 5ème proposition :

*"Toute grandeur solide plus légère qu'un liquide (..de même volume), abandonnée dans ce liquide, y sera immergée jusqu'à un niveau tel que le liquide qui occupait le volume de la partie immergée a le même poids que la grandeur entière".*

En cinématique, il est très intéressant de noter que déjà Héron d'Alexandrie a énoncé des théorèmes qui n'ont été utilisés que tardivement, comme la *loi de continuité*. En effet, il écrivait, il y a environ 2000 ans,

*"On doit noter que pour connaître la quantité d'eau fournie par la source, il ne suffit pas de calculer la section de l'écoulement (...). Il est également nécessaire de trouver la vitesse de l'écoulement (qu'il appelle  $\tau\alpha\chi\eta\varsigma$ ), car la source fournit d'autant plus d'eau que l'écoulement est plus rapide et d'autant moins qu'il est plus lent".*

Et, bien après lui, on s'étonnait encore de ne pas arriver à faire correctement des bilans des aqueducs parce qu'on ne tenait pas compte de la vitesse, mais seulement de la section, pour calculer le débit. Cette erreur s'est propagée très tard, puisque dans tous les pays européens on a continué pendant des siècles à estimer les débits d'après ce que l'on appelait le *pouce de fontainier* (débit d'un tuyau d'un pouce de diamètre); même après notre Révolution on a continué avec le centimètre de fontainier. D'ailleurs, dans un certain nombre de villes françaises - comme Marseille - jusqu'à la dernière guerre on faisait payer l'eau en fonction du seul diamètre du tuyau d'alimentation.

Quant à la dynamique des fluides, elle n'a été comprise que très tard. Ainsi, la circulation de l'eau dans les tuyaux occasionne des *coups de bélier*, connus de la plupart des utilisateurs et avec lesquels nos ancêtres grecs et romains ont eu quelques déboires. Un des

moyens de lutter contre ces coups de bélier est d'aménager des *cheminées d'équilibre*. Beaucoup ont été réalisées; il en existe un très bel exemple sur le siphon inversé d'Aspendos (ville hellénistique de la côte sud de la Turquie), mais la théorie qui a permis de lutter ainsi contre les coups de bélier était alors complètement fautive : la première théorie correcte du coup de bélier remonte seulement au siècle dernier.

### *Lenteurs de la technologie*

Pour des raisons en général socio-économiques, liées au concept du *système technique*, la technologie a parfois suivi avec un très grand retard : ainsi, des tuyaux ont existé quelque 2000 ans avant que l'on connaisse la métallurgie du fer; mais il a fallu ensuite attendre encore 3000 ans - jusqu'à Louis XIV - avant que l'on fabrique régulièrement des tuyaux en fonte de fer, qui ont permis le développement de l'alimentation des villes. Nous avons vu plus haut que les roues hydrauliques ont existé pendant une vingtaine de siècles avant que l'on ne commence à les utiliser pour la production d'énergie. Depuis, ces machines ont fait des progrès énormes : les grandes turbines hydrauliques modernes n'ont apparemment plus grand chose de commun avec les premières roues. Elles ont un rendement bien supérieur et des puissances plusieurs dizaines de milliers de fois plus élevées; mais il y a un critère sur lequel le progrès est pratiquement absent : c'est leur coût énergétique de construction, qui compare l'énergie dépensée pour la construire au travail qu'elle fournit. Ainsi, d'un point de vue strictement énergétique, la machine va payer sa construction par un certain temps de son propre travail. Tout comme les premières machines, en bambou, en bois vieilles de 2000 ans, les grandes turbines hydrauliques modernes "remboursent" leur travail de construction en quelques centaines d'heures.

### *D'hier à aujourd'hui*

Nous avons considéré comme une apogée de la fourniture d'eau l'ensemble des aqueducs et la distribution d'eau dans la ville de Rome, imités dans bien des villes de l'empire. Mais cet exemple, cet effort

n'a pas été suivi. En 1981, en lançant la décennie universelle de l'eau, l'UNESCO soulignait le fait qu'il y avait sur notre planète 2 milliards de personnes qui n'avaient pas un point d'eau à moins de 500 m de chez elles, pour certaines beaucoup plus loin. N'en sommes-nous pas *responsables* ?

D'autres erreurs ont été commises lorsqu'on a endigué des fleuves pour éviter les crues. Il y a plus de 2000 ans, les Etrusques, les Chinois l'ont fait : par méconnaissance des mécanismes d'alluvionnement, bien excusable à cette époque, ils ont ainsi surélevé le lit du fleuve et provoqué ensuite des inondations bien plus graves. Ces enseignements ont été ignorés il y a un demi-millénaire sur la Loire, sur le Pô, où l'on a commis les mêmes erreurs. Alors nous sentons-nous vraiment scientifiquement responsables ?

Les contributions précédentes ont exposé les problèmes de bilan, de gestion, de protection des eaux, problèmes en général peu cruciaux dans l'antiquité, et maintenant traités fort correctement avec toutes les ressources de la science moderne. Les premiers problèmes subsistent toujours; il ne faut pas laisser dans l'ombre leurs solutions, avoir le souci de les adapter aux pays qui en ont, parfois, cruellement besoin et pour cela accepter de recevoir avec humilité les enseignements de l'histoire.

Et, s'agissant de l'eau, n'oublions pas la considération que lui voue Lao Tzeu, dans l'impérissable Tao Tê King :

*"Rien sous le ciel n'est plus souple et plus doux que l'eau, mais il n'est rien non plus qui la surpasse pour attaquer ce qui est dur et ferme, par quoi elle est inattaquable".*

JACQUES BONNIN  
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES