



REPORTAGE

«AU FIL DE L'EAU ... AU FIL DU TEMPS»

par Gérard GUÉRIN



Dans l'HIPPOCAMPE de Septembre 2006, Gérard GUÉRIN nous a fait découvrir les merveilles technologiques de la Machine de Marly, conçue et réalisée au XVIII^e siècle, à la demande de Louis XIV, pour permettre l'élévation de l'eau de la seine et alimenter ainsi les fontaines et jeux d'eau du Parc de Versailles.

En effet Directeur de la Société des Eaux de Versailles et de Saint-Cloud de 1996 à 2006, notre ami avait en charge les services d'eau et d'assainissement des Yvelines et des Hauts de Seine. Cette PME était aussi l'héritière de la fameuse machine de Marly.

Cette machine, qui a marqué en son temps l'apogée de deux millénaires de constructions de machines à eau destinées à lutter contre la gravité, a amené l'auteur à s'intéresser à l'histoire de l'hydraulique urbaine non pas en tant qu'historien spécialiste mais en ingénieur curieux du passé.

Gérald GUÉRIN nous conte cette fois une histoire de l'eau, nécessaire à toute vie, que les hommes ont appris à domestiquer depuis la préhistoire pour satisfaire leurs besoins.

Qu'il s'agisse du pont du Gard, de la distribution et de la collecte des eaux de Rome, de la gestion des crues du Nil ou de bien d'autres ouvrages, la civilisation antique nous a montré bien des prouesses d'ingéniosité en technologies hydrauliques. Les civilisations ont développé et transmis diversement leur savoir et leur expérience, en fonction de leur culture selon la géographie et les climats des habitants.



Dans la continuité de la civilisation gréco-romaine, sans oublier l'apport de la civilisation égyptienne, on a assisté à un formidable développement des technologies d'adduction et de traitement des eaux en occident.

Toutefois d'autres civilisations, bien que moins connues de nous, ont aussi développé des systèmes ingénieux.

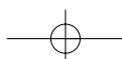
Aujourd'hui, face à une demande en forte progression due à l'accroissement démographique, la concentration des populations nécessite des procédés de plus en plus performants de collecte, d'adduction et de traitements des eaux, en particulier des eaux usées.

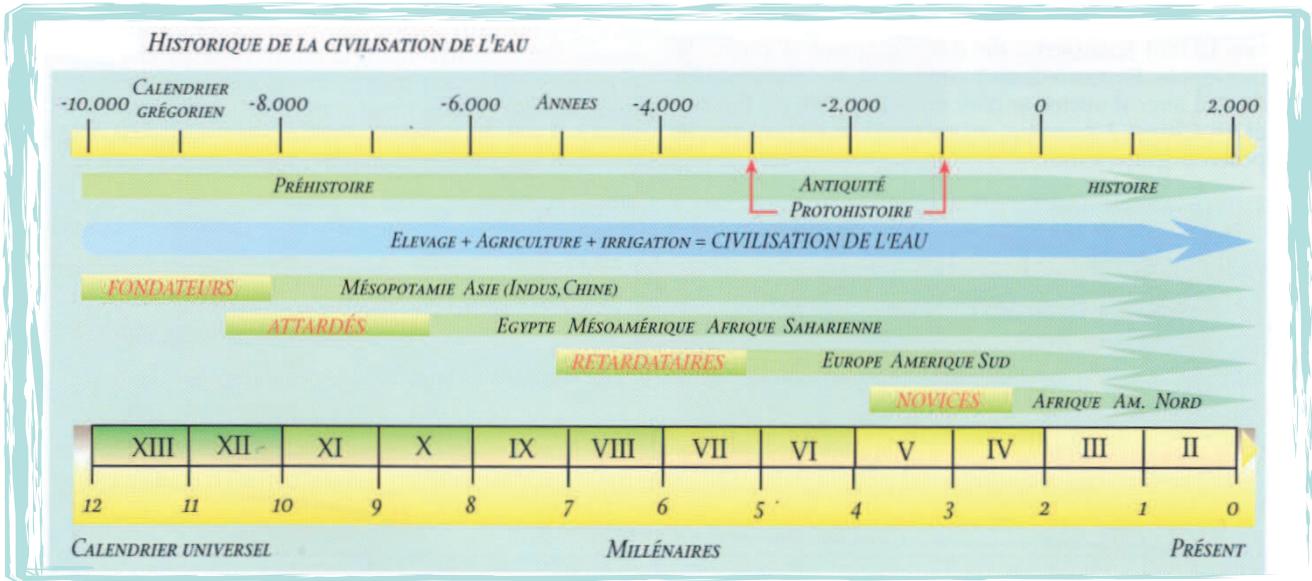
QUE FAUDRA-T-IL INVENTER POUR CONTINUER À SATISFAIRE LES BESOINS DE L'HUMANITÉ EN EAU POTABLE ?

Le présent HIPPOCAMPE correspond à la première partie de l'exposé dont la suite figurera dans l'HIPPOCAMPE de septembre.

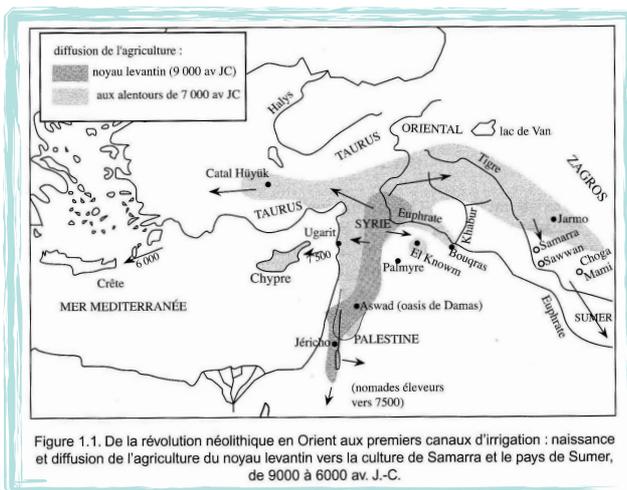
Le propos de l'auteur porte sur le cycle de l'eau en matière d'aménagement urbain. Il comprend :

- ▲ Quelques généralités sur les techniques antiques.
- ▲ La naissance de l'hydraulique chez les Grecs et les Romains.
- ▲ Les problématiques au niveau technique.
- ▲ De l'hydraulique minière à l'hydraulique somptuaire, puis à l'hygiène depuis le Moyen Age jusqu'au XVII^e siècle.
- ▲ L'évolution de l'amenée de l'eau depuis les barrages jusqu'à l'habitat.





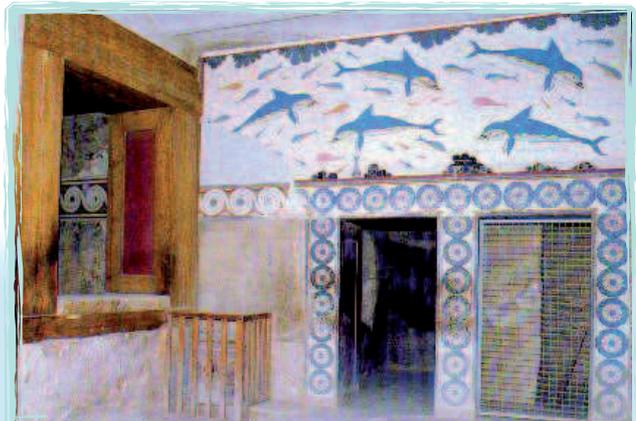
➤ GÉNÉRALITÉS SUR LES TECHNIQUES ANTIQUES <



C'est la révolution du néolithique, dans le croissant fertile (la Syrie actuelle) qui lance le passage de la hutte ronde semi enterrée à la maison rectangulaire, la croissance démographique, les premières urbanisations. Toutes les grandes civilisations se sont édifiées le long de fleuves, souvent à leur confluent. C'est ainsi que se sont développées celles du delta du Tigre et de l'Euphrate puis du Nil, de l'Indus et du Fleuve Jaune. Irrigation et drainages deviennent indispensables, mais alors, les sites mis en valeur sont rendus vulnérables aux inondations. Les travaux correspondants engendrent mise en commun de moyens, organisations collec-

tives, gestion coordonnée de l'eau, en un mot une organisation sociale structurée.

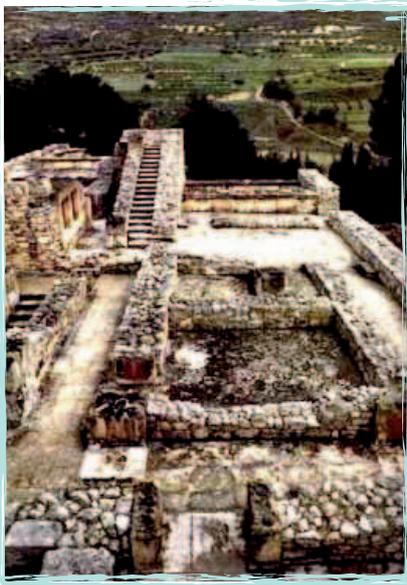
La sédentarisation des chasseurs – cueilleurs quelque 8000 ans avant J.C. a nécessité d'abord la maîtrise de l'eau qui fertilise la terre par crues naturelles puis par irrigation ; c'est ainsi que les égyptiens feront pousser le blé, les crétois inventeront le stockage par citerne et les grecs le transport par aqueducs, tandis que les indous connaissaient le confort de l'eau courante et les salles de bains ainsi que le tout-à-l'égout dès 5000 avant J.C. et que les babyloniens construisaient digues et canaux le long du Tigre et de l'Euphrate.



Palais de Cnossos (Crète) image de synthèse.



Le code d'Hammourabi, roi de Babylone vers -1800, règlemente déjà l'usage des systèmes d'irrigation : «Si quelqu'un a été paresseux pour renforcer la digue de son terrain... et si une brèche s'est ouverte,... (il) compensera l'orge qu'il a fait perdre...»



Vestiges du Palais de Cnossos.

Les Mésopotamiens ont inventé le drainage il y a 4000 ans. Les crétois amenaient l'eau à domicile par des réseaux en terre cuite en -2500. Le palais de Cnossos disposait de fontaines, salles de bain avec baignoire et latrines.

Il semble que l'assèchement du climat du croissant fertile vers -3000 a obligé la population à quitter ses villages pour venir grossir des bourgs tels Uruk qui devinrent

de vraies villes, avec pour corollaire l'impératif de développer les surfaces cultivables, donc de drainer creuser des canaux organiser l'usage de l'eau. Ainsi s'est engendré la première civilisation hiérarchisée celle de Sumer qui inventa l'écriture. On trouve dans la chronique royale de Lagash le texte suivant :

«...l'eau vint à manquer... les canaux n'étaient plus creusés, les rigoles d'arrosage plus curées... Pour creuser les canaux, pour curer les rigoles, pour irriguer au chadouf les vastes campagnes... les dieux mirent à la disposition du peuple la bêche, la houe le couffin...»

Deux mille ans avant notre ère, les chinois canalisèrent le fleuve jaune en le dotant de digues de protection. Le plus ancien des grands barrages dont on a la trace est celui de Saad al Kafara, construit en Egypte vers -2600, mais on connaît des traces de barrages plus modestes édifiés 1000 ans plus tôt, à Jawa au Nord Est d'Amman en Jordanie.

L'adduction naît avec l'apparition des villes. En -700 un canal de plus de 100 Km de long en pierres étanchéifiées au goudron amène l'eau au palais de Ninive. Les jardins suspendus de Babylone datent de la même période.

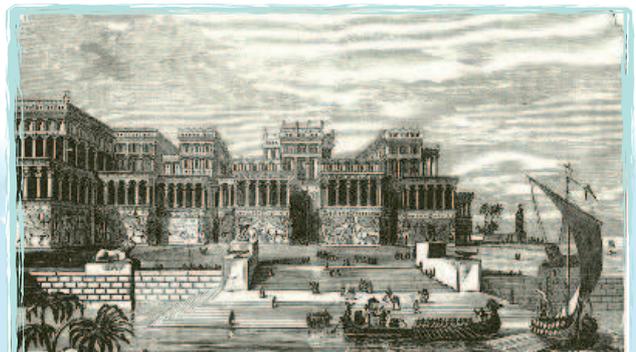
La naissance de l'hydraulique chez les Grecs et les Romains

Les changements décisifs résultent des conquêtes d'Alexandre qui ont fait rencontrer les savoir-faire hydrauliques orientaux anciens avec la géométrie grecque. Comme l'écrit Pierre Louis Viollet :



Babylone (image d'artiste).

«La ville d'Alexandrie devient pour de nombreux siècles le centre scientifique du monde connu.. Héritiers des techniques étrusques et orientales, influencés par les Grecs, dotés d'un grand sens pratique, les ingénieurs romains marquent tout le pourtour méditerranéen par leurs réalisations. Si la chute de l'empire romain marque la décadence de l'Occident, l'Orient poursuit son développement jusqu'aux invasions mongoles du 13^{ème} siècle.. La Chine dont le développement hydraulique a commencé plus tard (invente) des réalisations techniques à la mesure du pays. Du premier siècle avant J.C. au quinzième siècle après, c'est elle qui constitue le principal foyer d'innovation. «Ecluse à sas, pompe à palets carrés, machines hydrauliques industrielles, grands travaux d'endiguement, de canaux etc...»

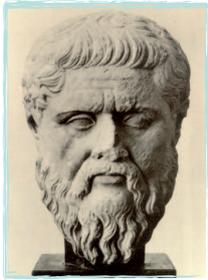


Ninive (reconstitution).



au fil du temps...

Au temps de l'Empire romain l'aqueduc est l'emblème de la Cité et, 600 ans avant J.C. Rome est déjà dotée de son évacuation d'eaux usées la cloaca maxima. Les rues sont parcourues de canalisations en Plomb. En -200 la Ville compte pas moins de 11 aqueducs de le plus long mesure 68 Km. Au siècle suivant Lyon reçoit 80 000 m³ par jour grâce à 250 Km d'aqueducs.



Platon

Déjà les grecs ont su établir de nombreuses lois fondamentales :

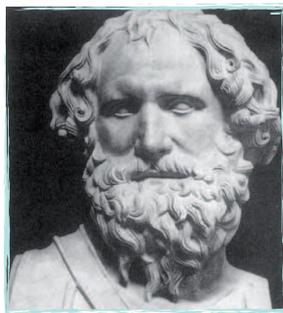
- Platon (429/348) découvre la capillarité
- Archimède (287/212) énonce son principe. Son hydrostatique générera les techniques utilisant la pression.
- Héron (150/100) étudie la pression dans les fluides et les jets liquides. Le premier, il établira le lien entre la notion de vitesse du fluide et son débit.

Les romains comptent les deux plus célèbres ingénieurs de l'Antiquité.

- Vitruve vers l'an 0 dont l'ouvrage «De l'architecture» décrit toutes les techniques utilisées par les romains.

- Frontin, spécialiste des aqueducs (40/103). Choisi par Nerva comme «Curato aquarum» qui fera un audit des installations hydrauliques de Rome et de son Empire.

Les romains ont bénéficié à la fois de l'héritage des Etrusques (qui pour s'installer avaient du assainir de larges régions de l'Italie, en réalisant partout 8 siècles avant J.C. les «cuniculi» galeries drainantes de 1,50 m de hauteur 0,50 m de largeur enterrées à une trentaine de m de profondeur en fond de vallée et de l'héritage d'Alexandrie, conquise au premier siècle après J.C.



Archimède

Ils ont diffusé leurs techniques autour de la Méditerranée.



Léonard de Vinci

La chute de l'empire romain marque un arrêt de l'évolution de l'hydraulique, seul le nom de Léonard de Vinci (1452/1519) dominant la fin du moyen âge ; parmi ses innombrables études on peut citer :

- le mouvement de l'eau la formation des tourbillons.
- l'écoulement par les orifices, les déversoirs.
- les machines hydrauliques.



Toricelli



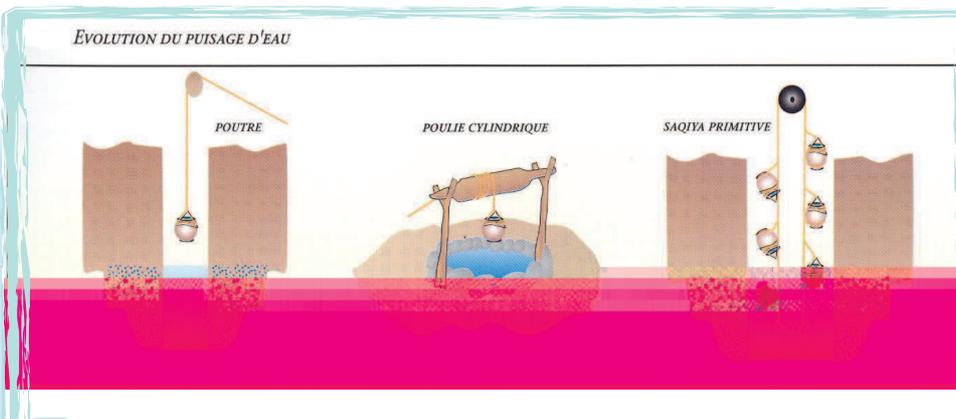
Lavoisier

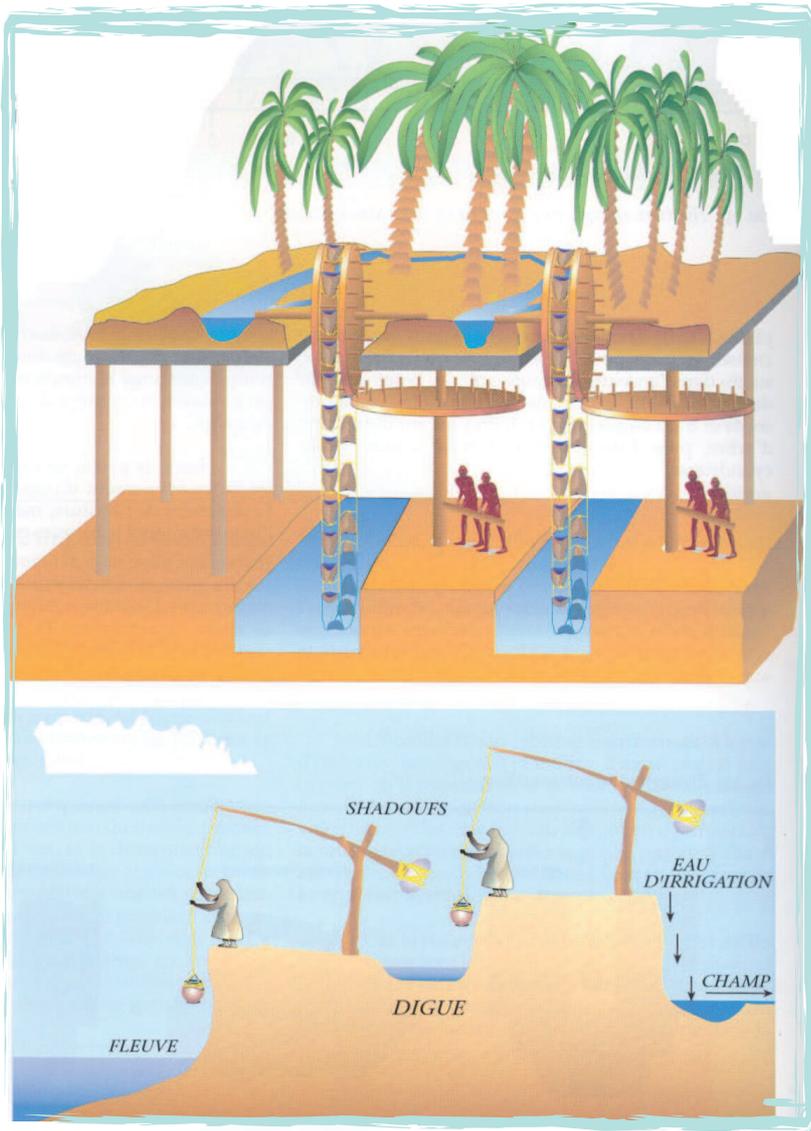
Puis une floraison de découvertes se succèdent : Torricelli, Pascal, Mariotte, Newton, au 17^{ème} siècle suivis de Pitot, Bernoulli, Euler, Borda, d'Alembert, Chézy, Lagrange, Woltmann Venturi au 18^{ème}.

Prony, Navier, Cauchy, Poiseuille Stokes, Froude, Darcy, Reynolds, Saint Venant et Bazin au 19^{ème}. Karman, Prandtl, au 20^{ème}. Et les noms qui précèdent ne sont qu'une très petite partie de tous ceux que l'on pourrait citer.

On peut résumer cette période de montée exponentielle des connaissances fondamentales en disant que c'est au 20^{ème} siècle que la science hydraulique a trouvé sa maturité.

Je vous propose de parler d'abord de l'histoire de la technique puis un peu d'économie et enfin de terminer par un peu de politique.





Élévation de l'eau pour les jardins suspendus soit par chapelet hydraulique au Saqiya (en haut) soit par Shadouf (en bas)

Les problématiques au niveau technique

Au niveau technique, quatre problématiques :

- conduire l'eau, la transporter; on parlera un peu plus en détail du Pont du Gard et de l'aqueduc de Louveciennes.
- la stocker on parlera des réservoirs construits par Colbert
- lutter contre la pesanteur on parlera de la Machine de Marly.
- traiter l'eau la potabiliser, l'épurer.

Sur ce dernier point, je vous propose de glisser très vite pour ne pas entrer dans des débats d'experts ; en deux mots : s'il a fallu attendre Pasteur pour comprendre, on a néanmoins trouvé des inscriptions très anciennes en Chine et en Inde recommandant de faire bouillir l'eau ou seulement de la laisser au soleil après l'avoir filtrée sur du charbon de bois ou du sable. On n'est pas très loin de nos techniques actuelles malgré les quelque 2500 ans écoulés.

Retenons que, outre les traitements physiques (dont la filtration) et les traitements chimiques, on utilise beaucoup les traitements biologiques du fait de leur faible coût.

Une anecdote : au 18^{ème} siècle un français de passage à Londres avait remarqué le teint fleuri des vidangeurs de fosses septiques et recommandé qu'en cas d'épidémie toutes les fosses de Paris soient ouvertes afin de protéger la population ! Ce qui fut fait et a dû donner à notre capitale une odeur singulière !

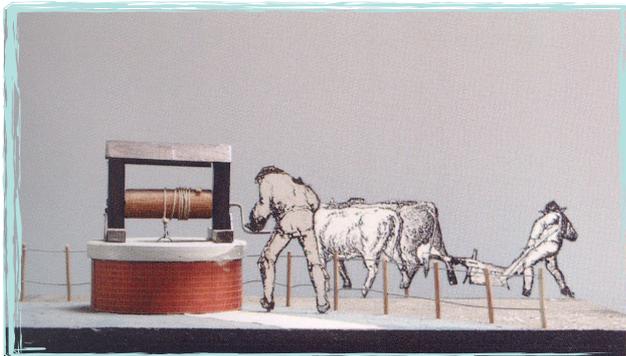
Plus dramatique : aujourd'hui encore l'eau reste le vecteur de pandémies et l'on calcule qu'il meurt environ de 5 à 8 millions d'être humains, en majorité des enfants, chaque année dans le monde du fait de l'insalubrité, simplement parce qu'ils ont bu de l'eau impropre à l'alimentation humaine ou joué dans un cloaque.

On l'a vu, la technique la plus ancienne concerne les eaux de surface qu'il a fallu endiguer; drainer... Dès le sixième millénaire, on



à su rechercher les eaux souterraines et creuser des puits. Au 8^{ème} siècle avant J.C. on a inventé le qanat : au flanc d'un relief on creuse une galerie à très faible pente jusqu'à rencontrer l'eau, quelque fois sur plusieurs km (royaume d'Urartu). Avec la maîtrise de la construction des barrages, digues et canaux, les villes vont se protéger non seulement des inondations mais aussi des attaques et s'entourer de fossés et de douves. On va utiliser l'énergie de l'eau qui y court pour animer des moulins, des machines (soufflets de forge, machine à marteler; à percer; etc...) répondant aux besoins de l'artisanat.

Si Vitruve affirme que ce sont les grecs qui ont inventé le moulin, des archéologues contemporains font état de vestiges de moulins dans le Jütland et remarquent que la terminologie (bief, gué, bonde, etc...) est formée en majorité de mots d'origine celtique.



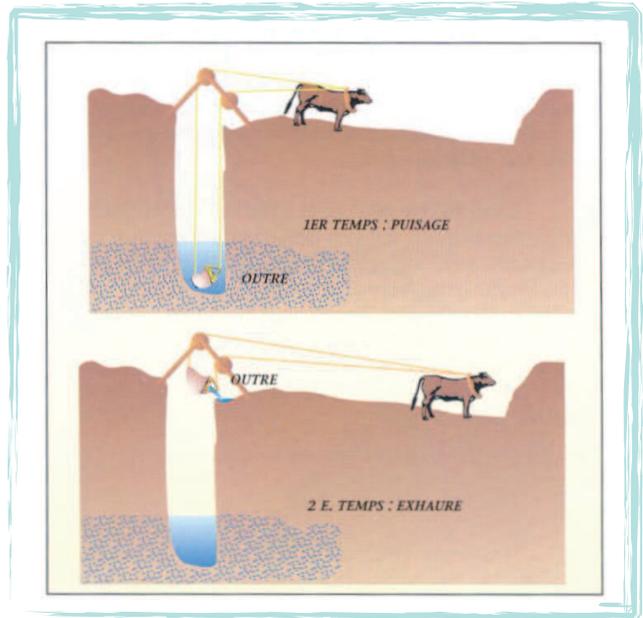
Maquette de l'université de Liège.

Venons en aux procédés mécaniques ; le geste de puiser, la corde du puits, le levier avec son contrepoids (le chadouf inventé par les mésopotamiens) et la noria sont les bases immémoriales de tous les mécanismes mis en œuvre. Il s'y ajoute tous ceux dérivés de la roue : cage d'écureuil et roue à chevilles notamment. L'énergie est fournie par des animaux et des hommes esclaves, serfs...

En enroulant la corde sur un axe vertical on obtient un manège à chevaux, ânes ou dromadaires, qui permet d'actionner aussi bien de lourdes meules de moulins que des norias pleines d'eau d'exhaure de mines.

Tout cela tourne dès le 6^{ème} siècle avant J.C. Vers 200 avant J.C. apparaissent les roues hydrauliques qui permettent de transformer le mouvement de l'eau d'une rivière en mouvement circulaire, l'eau arrivant selon les cas par le haut par le bas ou par le centre de la roue.

La cage d'écureuil, le manège à chevaux et la roue hydraulique sont avec la vis d'Archimède les seuls moteurs disponibles jusqu'au 18^{ème} siècle, exception faite des moulins à vent apparus aux environs de l'an 1000.



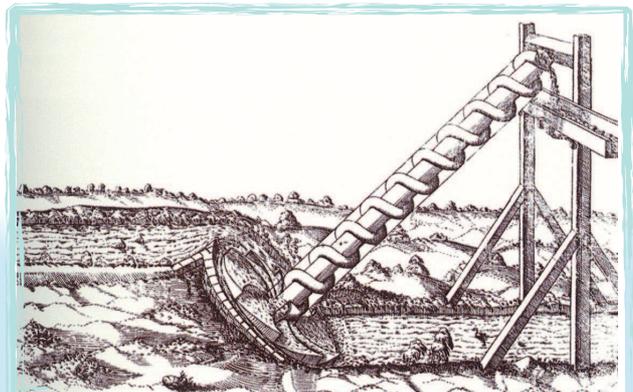
Cerd persan, dénommé aussi delou au Maghreb.

La vis d'Archimède est réservée aux faibles hauteurs de relevage.

On accole trois types de mécanismes à ces moteurs : engrenage à angle droit, arbre à cames, et système bielle – manivelle.

L'arbre à cames est utilisé pour actionner des pompes dès le 3^e siècle avant J.C.

Il faut ajouter d'une part des moyens de mesure et de prévision : les nilomètres qui placés très à l'amont permettaient d'anticiper les crues du Nil à l'aval (celui de la passe de Semma avant la seconde cataracte date d'avant – 1800). les romains pour leur part

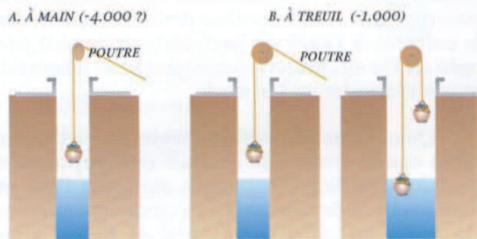


Élévation de l'eau par «Vis d'archimède».

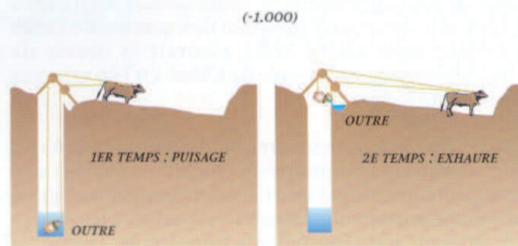


SYSTÈMES ÉLÉVATOIRES

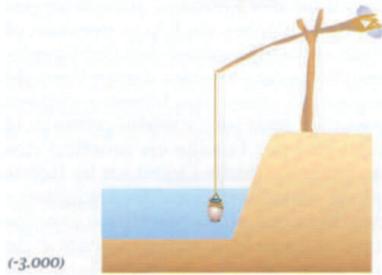
1. Puits (BOISSON, EAU DOMESTIQUE)



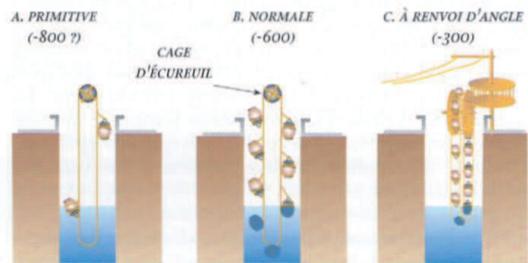
2. CÉRD (PERSE) OU DELOU (MARC) (IRRIGATION 500 M2)



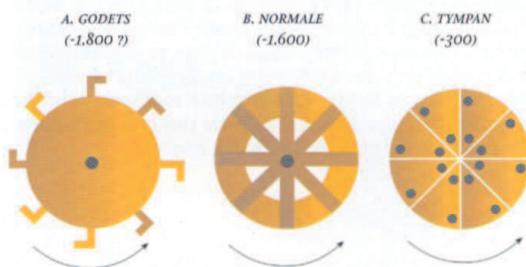
3. BALANCIER (SHADOUF) (ARROSAGE 50 M2)



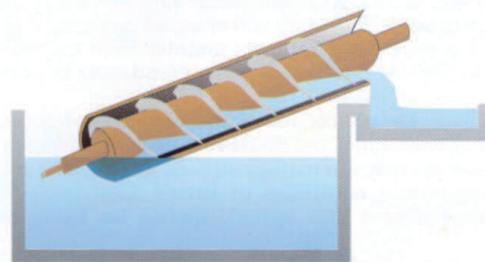
4. SAQIYA (IRRIGATION 5.000 M2)



5. NORIA (IRRIGATION PLUSIEURS HA)



6. VIS D'ARCHIMÈDE (-300)



Schémas extraits de l'ouvrage de robert Ambroggi.



au fil du temps...

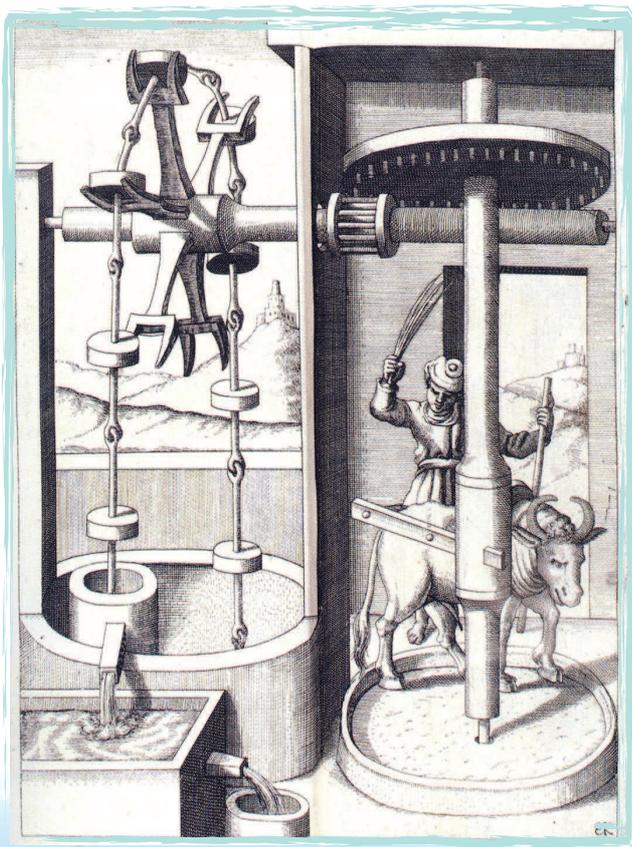
caractérisaient leurs adductions par la section des canaux (mesurée en quinariae), la notion de flux n'étant pas acquise, d'autre part de merveilleuses machines inventées à Alexandrie 2 à 3 siècles avant J.C. comme l'horloge à eau, la pompe à incendie à deux corps de Ctésibios, des automates à eau etc...

Tout au long de notre ère, les mécanismes simples, engrenage, arbre à came, bielle – manivelle, seront combinés à l'infini dans deux domaines : d'une part l'industrie minière, d'autre part les « théâtres de machines » dans lesquels des ingénieurs proposaient notamment aux grands seigneurs chefs de guerre leurs inventions susceptibles d'aider à remporter les batailles : selon les cas machines à vider les douves, à noyer les fortifications adverses etc...

lurgie du plomb permet à Pergame une réalisation extraordinaire : pour alimenter la forteresse, on capte des sources à 1200m d'altitude, et à 25km de distance, on conduit l'eau sur plus de 40km par des tuyaux en terre cuite à joints étanchés par un mélange de sable, d'argile et de matières organiques (pétrole ou graisses) jusqu'à un réservoir situé à trois km de la citadelle et à 376m d'altitude soit 26 au dessus d'elle ; le vallon qui les sépare est franchi par un siphon inversé en W en plomb de 30cm de diamètre posé au sol et fonctionnant en charge. Cette technique du siphon inversé sera très largement diffusée par la suite et notamment par les romains.

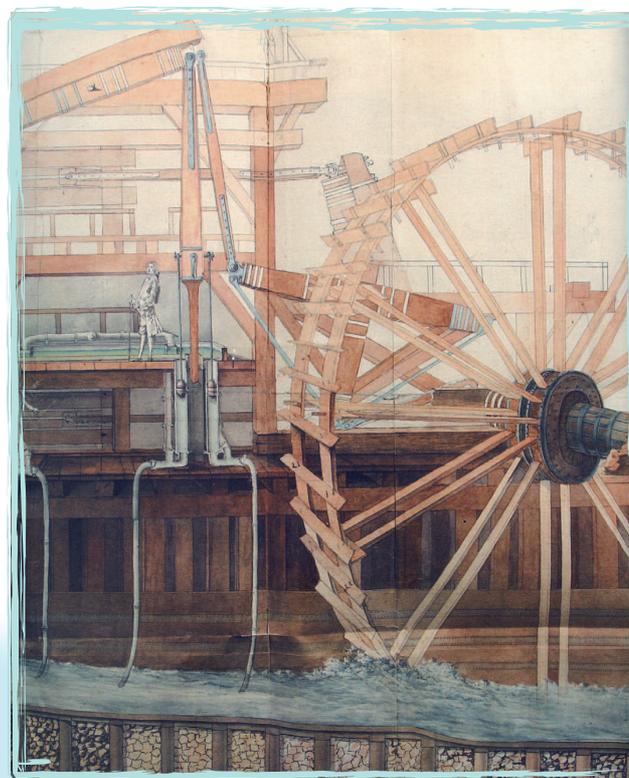
La machine de Marly

En 1662 Louis XIV décide de faire de Versailles sa résidence royale transformant le relais de chasse de son père en un magnifique château entouré d'un parc somptueux avec de multiples bassins agrémentés de jeux d'eau fantastiques, mais Versailles est situé sur un plateau calcaire et l'eau est en quantité insuffisante et pendant 20 ans les travaux vont se succéder pour la renforcer.

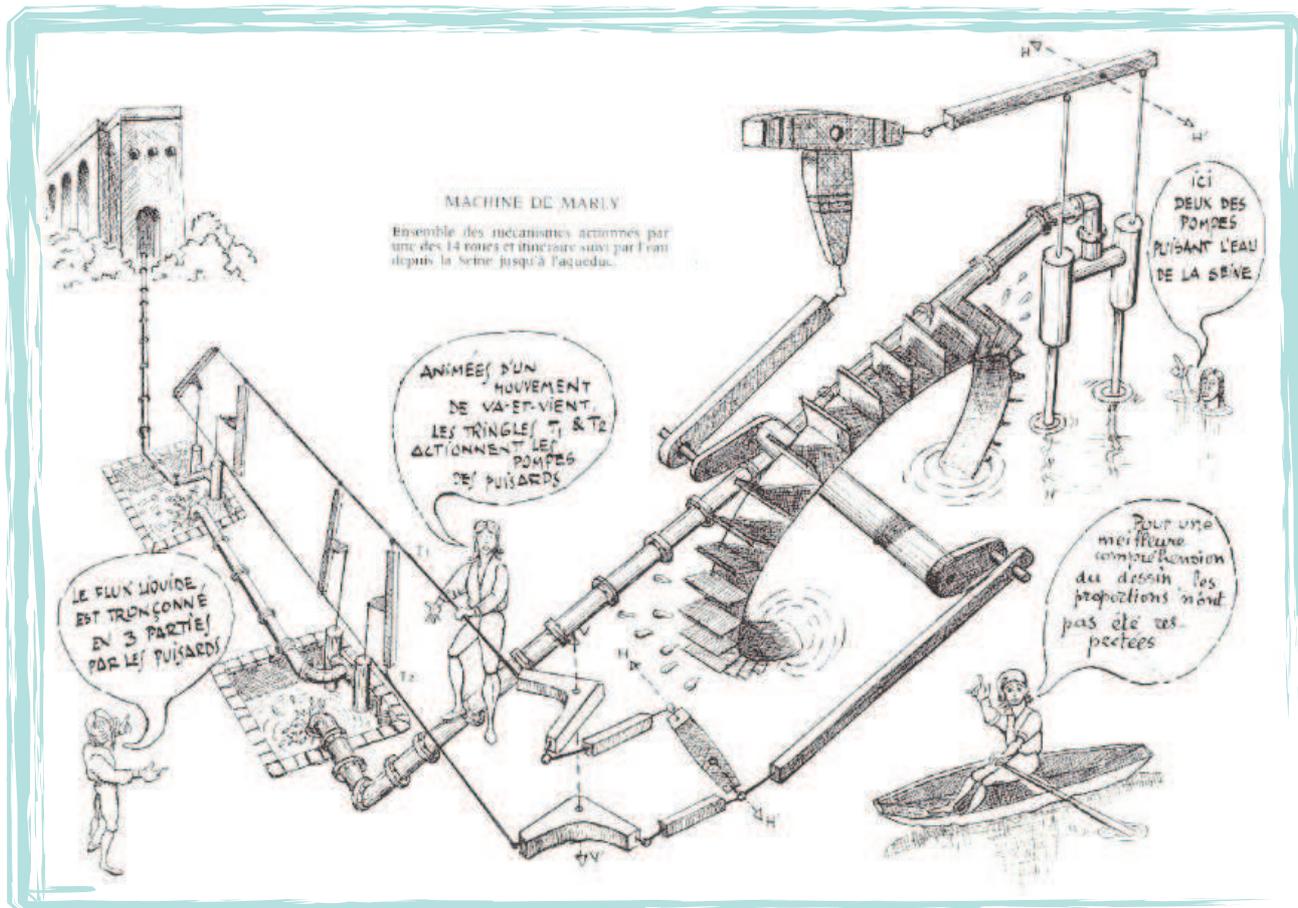


Élévation animale de l'eau.

Dès la plus haute antiquité, l'architecture militaire a engendré des innovations utiles aux civils ; en particulier, l'amenée d'eau aux citadelles haut perchées ; on y a d'abord construit des citernes de rétention d'eau de pluie. Puis on a creusé des tunnels d'accès à des réservoirs souterrains vers lesquels des sources sont dérivées (cas de Jérusalem). Deux siècles avant J.C. la métal-



Cette reconstitution donne une idée de la dimension de la machine par rapport au personnage.



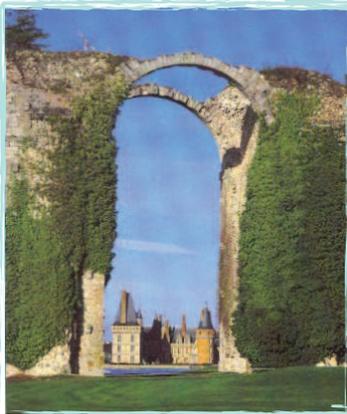
Ensemble des mécanismes actionnés par une des quatorze roues de la machine de Marly.



Schéma général



au fil du temps...



Ruines du viaduc de Maintenon.

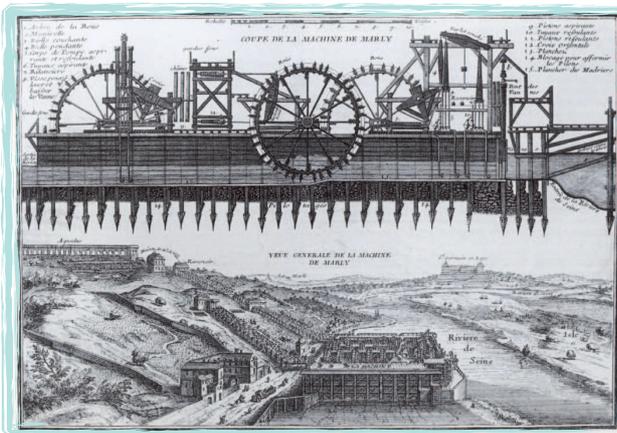
Dès 1663 on amène l'eau des étangs de Clagny. En 1668, apport de la Bièvre à l'aide des moulins de Satory et de Launay. Réalisation des aménagements des étangs supérieurs et inférieurs de 1675 à 1684.

En 1682, Thomas Gobert, ingénieur architecte du Roi déclare : «On pourroit faire un aqueduc de maçonnerie qui ne seroit sujet à aucun entretien sans besoin de fer, cuivre, ny plomb, plus solide et a durer autant que le monde, dont la magnificence marqueroit à la postérité, autant qu'aucun autre esdifice la grandeur du règne du Roy...». Ce sera l'aqueduc de Buc édifié selon les mêmes techniques que celles utilisées par les romains, dont nous reparlerons.



Les «Grandes Eaux» de Versailles.

Il s'ensuit en 1734 une terrible épidémie de typhoïde et l'on décide de rénover la machine : d'abord par une machine à vapeur dite de Cécile et Martin puis en 1859 par une nouvelle machine hydraulique dite de Dufraayer qui finira son service en 1968 et sera ferrailée.



Écorché de la machine de Marly.

On pense ensuite à détourner l'Eure, puis faire un canal spécifique depuis la Loire. C'est alors que deux liégeois, Arnold de Ville et Rennequin Sualem proposent d'utiliser la force motrice de la Seine pour pomper l'eau sur 150 m de hauteur en trois étages successifs, les joints de l'époque ne supportant pas plus de 5 bars. La réalisation se fera de 1681 à 1684 pour aboutir à un système incluant 14 roues à aubes de 12m de diamètre actionnant au total 259 pompes.

L'eau arrivera d'abord au château de Marly puis l'année suivante à Versailles.

A la mort de Louis XIV en 1715 on cesse d'alimenter les bassins des deux châteaux pour privilégier les fontaines publiques et l'usage des puits individuels.



Le Palais de Versailles.

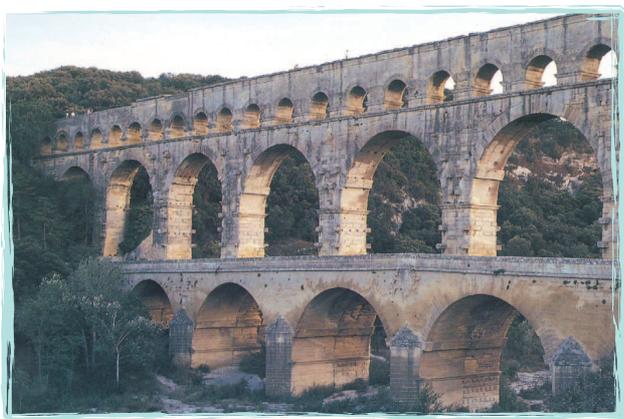


Vue générale de la machine de Marly.



Le Pont du Gard et son canal d'amenée ; l'aqueduc de Buc

Le pont du Gard



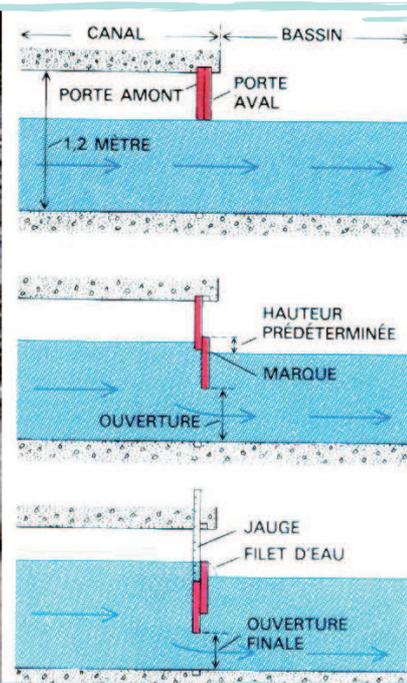
Le Pont du Gard.

Cet extraordinaire monument de 48,77m de hauteur en trois rangées d'arcades superposées (la hauteur d'un immeuble de 16 étages !) fut édifié en 19 avant J.C. par Marcus Agrippa, ingénieur ami et collaborateur d'Auguste qui réalisa de nombreux ouvrages dont des systèmes d'adduction d'eau.

L'aqueduc apportait l'eau des sources d'Ucetia (Uzès) jusqu'à un castellum, c'est-à-dire un bassin circulaire situé sur une colline de Nemausus d'où elle descendait par dix canalisations de diamètre 300 mm sur les quartiers de la ville qui comptait environ 50 000 habitants.

Dans l'ensemble du monde romain de l'époque on utilisait l'eau en quantités importantes, dans les fontaines comme dans les thermes et les bains publics.

Les sources d'Uzès pouvaient fournir le débit nécessaire (30 000m³/j environ) mais se trouvaient à 20km de distance, et le parcours à suivre était de plus du double eu égard aux caractéristiques du terrain. Comble ! la différence d'altitude entre point de départ et point d'arrivée n'est que de 17m ; malgré les obstacles, tunnels, ponts au long des 50km du tracé la pente moyenne à respecter n'était donc que de 0,34m/km, la moindre erreur engendrant des zones de plat où l'eau aurait stagné.



Système de séparation des eaux en fonction des besoins.



Tout au long du trajet, hors le pont, les romains ont réalisé un canal en creusant une tranchée le fond était recouvert par une couche de mortier et les cotés par des murs en pierre. Le tout recouvert par une couche de maltha, un enduit rosé imperméable, composé de chaux de graisse de porc et du jus caoutchouteux de figues vertes. Ils recouvraient ensuite le canal d'une voûte semi-circulaire, puis refermaient par de la terre.

La section courante du canal est un carré de 1,20m de côté la voûte montant à 1,80m ce qui permettait aux agents de maintenance de se déplacer debout à partir de puits placés à des intervalles réguliers. Sur le pont lui-même la voûte est remplacée par des dalles résistant mieux aux intempéries que la voûte maçonnée.

Pour réduire la hauteur du pont, en amont la pente moyenne est de 0,67m/km et en aval du pont de 0,187m/km: même ainsi le pont du Gard reste le plus grand pont construit par les romains.

On sait aujourd'hui que le débit des sources d'Ucetia variait à l'époque entre 210 et 450 l/s et l'on peut vérifier que les dimensions du canal et sa pente donnent un écoulement optimum pour le débit moyen sans risque de débordement même pour le débit maximal.

Le pont lui-même est constitué de pierres de six tonnes lui permettant de résister aux vents violents, sans trop le surdimensionner.

Le castellum est un bassin circulaire de six mètres de diamètre et de 1,4m de profondeur comportant trois vidanges et un dispositif de portes pour régler le débit ; on levait les deux portes la nuit, le niveau dans le bassin et dans le canal étant alors identique. Chaque matin le castellarius abaissait la porte aval jusqu'à ce qu'un repère tracé sur la porte soit au niveau de l'eau dans le bassin, il abaissait ensuite la porte amont faisant monter l'eau dans le canal amont ; il s'arrêtait quand l'eau amont affleurait la partie supérieure de la porte aval.

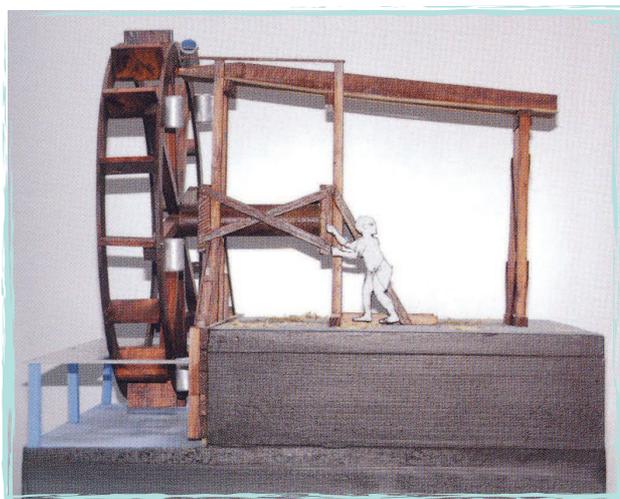
Pour nettoyer le bassin, il ouvrait en période de faible débit les trois bondes de vidange ce qui ne laissait que quelques centimètres d'eau au fond, et il pouvait retenir l'eau complètement pendant une vingtaine de minute en bouchant les conduits d'amenée.

L'aqueduc a fonctionné quatre siècles. Faute d'entretien il s'est chargé de dépôts et s'est obstrué au 8^{ème} siècle. Les habitants récupérèrent pierres et plomb et finirent de ruiner l'ouvrage. Le pont lui-même fut endommagé au moyen âge par un ingénieur incompetent qui rétrécit les piliers de la deuxième rangée d'arcades. En 1740, Henri Pitot, le constructeur du canal du Midi construisit un pont adjacent pour la circulation moderne et le pont romain fut restauré sur décision de Napoléon III en 1855.

La plupart des aqueducs romains ont cessé de fonctionner entre le 5^{ème} et le 6^{ème} siècle, faute de maintenance, mais celui de Carthage, autre merveille, est encore, pour partie utilisé de nos jours par les tunisiens.

L'aqueduc de Buc :

Pour amener l'eau de la Bièvre à Versailles, il fallait franchir la montagne de Satory. On construisit d'abord une machine, actionnée par une roue à aubes de 20m de diamètre, elle-même mue par l'eau dérivée dans un canal creusé depuis la retenue du Val et par un système complexe de bielles et de renvois on anima une énorme pompe sise dans des puits maçonnés élevant l'eau dans des tuyaux de plomb jusqu'à un tonneau situé au sommet. De là elle redescendra vers le château dans des canalisations de fer.

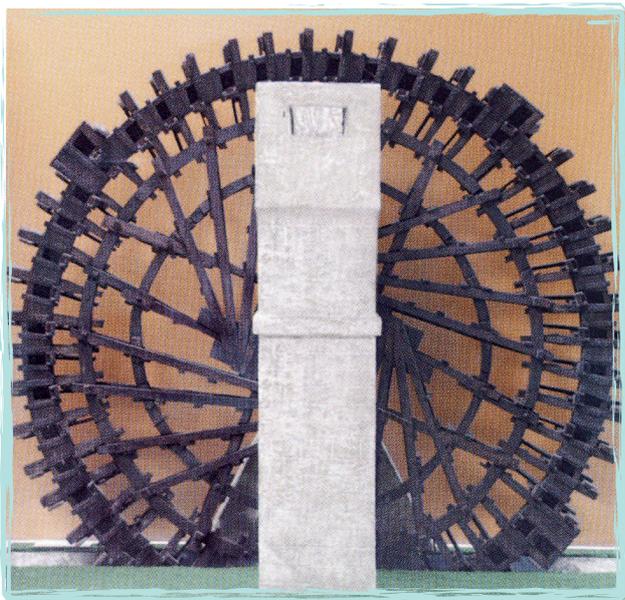


Dimension de la roue à aube de l'aqueduc.

Mise en route en 1671 le résultat est décevant ; le débit obtenu reste très faible. On installe alors 4 moulins à vent pour renforcer l'énergie disponible. Les fantaisies d'Eole conjuguées aux aléas mécaniques rendent l'effet trop aléatoire. L'augmentation du nombre des jeux d'eau amène les fontainiers à disposer des guetteurs pour ouvrir (et refermer !) les robinets au fur et à mesure que le roi avance. Les projets les plus fous sont proposés au roi, jusqu'à détourner la Loire. Mais le relevé de l'abbé Picard montre que l'eau n'arrivera pas à la hauteur du château; Buc ne sera pas transformé en port fluvial. C'est alors qu'est émise l'idée d'aller chercher l'eau en Seine ; mais les relevés de Picard ont montré que l'eau de la plaine de Trappes est 5m plus

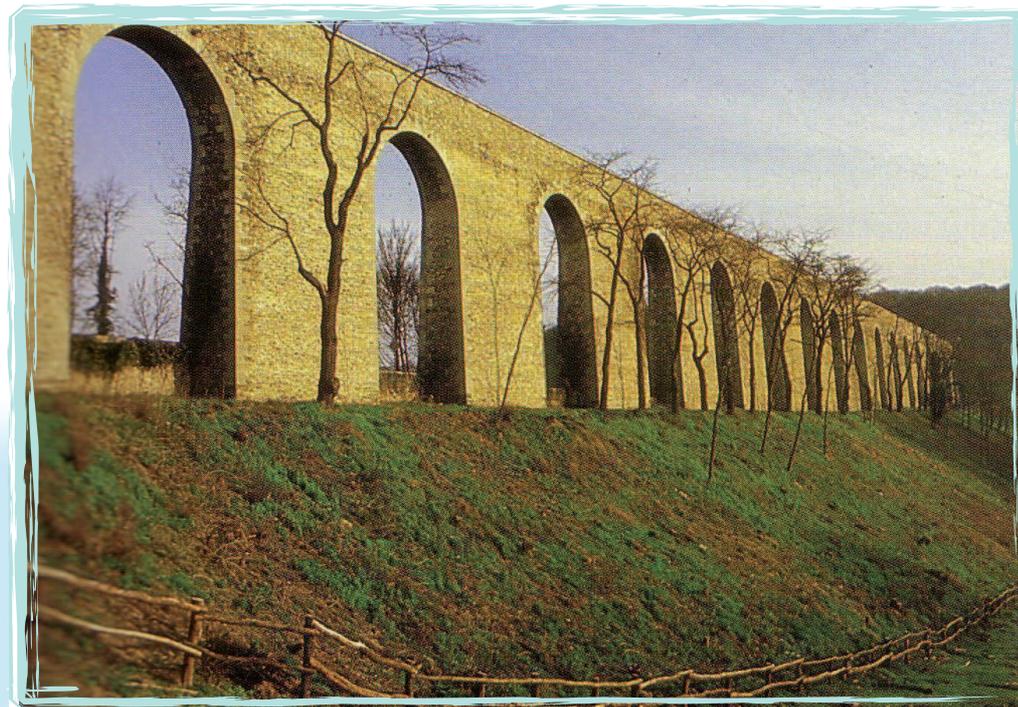


 au fil de l'eau...



Une des roues hydrauliques.

haute que la grotte de Thétis, ouvrage le plus élevé du château. Colbert ordonne alors de réaliser un vaste réseau d'étangs et de rigoles, les «étangs supérieurs» qui alimenteront le réservoir du château via le souterrain de Satory. Du côté de Marly, on capte les sources des Gressets, on perce la butte de Rocquencourt par un aqueduc de «3,5km de long réalisé par l'ingénieur Gobert. L'abbé Picard étant décédé d'une mauvaise chute, Gobert reprend les relevés topo sur le plateau de Saclay et propose d'amener ses eaux à Versailles par le franchissement de la Bièvre. Il écrit : «c'était un projet fort hardi de vouloir amasser l'eau... la conduire sur près de 5 lieues,... percer 5 montagnes par des aqueducs sous terre, dont il y en avait à plus de cent pieds de bas, n'avoir que dix pieds de pente...». Dans un premier temps la vallée de Buc est franchie en siphon par deux canalisation de fer de huit pouces de diamètre, ce qui permettra de prouver l'efficacité de l'apport d'eau, et fait écrire à Gobert qu'il pourra amener «jusque de cinq à six cent mil toises cubes d'eau par année...» malgré les ruptures du siphon qui a du mal à encaisser la pression de 2,5 bars due à la profondeur de la vallée. On supprimera ce siphon en soutenant les tuyaux par une estacade en bois La mort de Colbert, son protecteur met un terme à la carrière de Gobert,



Aqueduc de Buc.



au fil du temps...

que Louvois remplace par Mansart au moment où les travaux de l'aqueduc commencent après l'acquisition des terrains nécessaires appartenant notamment à Madame de la Guérinière. Il aura une longueur de 580m et une hauteur de 45m une largeur a sommet de 2,4m, avec deux étages d'arcades, le premier de 24m portant la route de Versailles à Chateaufort, le second de 21m avec 19 voûtes de 9m d'ouverture et une épaisseur au piédroit de 12m. L'aqueduc proprement dit, sur le tablier supérieur a un mètre de large sur 1,91m de haut ; il est recouvert de dalles de pierres. La technique mise en œuvre est celle de la voûte clavée, connue depuis les Etrusques. Il sera achevé en 1686. L'étanchéité est faite au mortier de tuileau. La main d'œuvre a été apportée essentiellement par l'armée. Si l'on sait que l'aqueduc de Maintenon a mobilisé plus de 30 000 hommes, dont 6000 décéderont de mauvaises fièvres, on ignore le détail de la main d'œuvre mobilisée à Buc.

Aujourd'hui l'aqueduc existe toujours mais ne fonctionne plus depuis un siècle. Il a été peint par le douanier Rousseau.

Canalisations :

C'est à El Kown (vallée de l'Euphrate) qu'on a trouvé les plus anciennes canalisations d'évacuation des eaux des maisons. Elles datent de -6500 et étaient constituées par des caniveaux enduits de plâtre éventuellement couverts de dalles de pierre. L'usage de la terre cuite se répandra rapidement pour la réalisation de réseaux d'évacuation d'eaux usées et d'eaux pluviales dans les villes de Mésopotamie au début du troisième millénaire.

En Grèce, tous les réseaux d'eau, constitués d'éléments préfabriqués (de longueur de 0,60 à 1m et de diamètre de 11 à 22cm) emboîtés entre eux sont enterrés et fonctionnent en régime écoulement libre. Certains éléments comportent un trou de curage normalement bouché à l'argile. Le siphon inversé en U est largement généralisé avec des hauteurs allant jusqu'à plusieurs dizaines de m, la partie en charge du U étant alors en pierre. C'est ainsi que les Grecs ne réaliseront pas d'aqueducs spectaculaires.

La métallurgie du plomb puis de la fonte et enfin de l'acier révolutionneront l'art de construire les réseaux urbains, mais l'on continuera bien au-delà du moyen-âge à percer en long des troncs d'arbres qui mis bout à bout et grossièrement étanchés par un feuillard métallique permettent de réaliser des réseaux à

moindres frais. La fonte se généralise au début du XIX^e ; Entre 1810 et 1830 son coût est divisé par 20 grâce aux progrès de fabrication ! A la même époque on enduit les tuyaux de bitume.

A Versailles nous conservons avec attention quelques exemplaires de fontes issus des fonderies royales de Pont-à-Mousson vers 1700.

La mise en œuvre de tuyaux en béton pour l'assainissement se généralise au 20^e siècle. Le joint standard, capable d'encaisser des pressions importantes aussi. L'acier permet toutes les audaces mais nécessite des protections anti-corrosion plus complexes.

Les matières plastiques, PVC et PE, résines, bétons à âme tôle, sont apparus dès l'immédiat après - guerre. Ils permettront de réaliser l'adduction des zones rurales et entre 1950 et 1980 on posera plus de tuyaux que dans l'ensemble des périodes antérieures.

Dans les années 1960, la fonte ductile 2GS apparaît, qui conjuguée à de nouveaux joints permet de nouveaux exploits techniques.

Aujourd'hui on dispose d'une multiplicité de matériaux, y compris l'inox utilisé en Europe du Nord. Et plus de 99% de la population française est servie, le restant ne pouvant l'être pour des raisons d'isolement et d'éloignement (les temps de transport rendent alors l'eau impropre à la consommation).

Barrages

On est un peu aux limites du champ de cette présentation et je serai très bref.

Si les techniques de barrages poids sont très anciennes, on remarquera, que les romains, une fois de plus, ont été les premiers à réaliser des barrages voûtes au moins à deux exemplaires : à Glanum, près de Saint Rémy de Provence et à Monte Novo au Portugal.

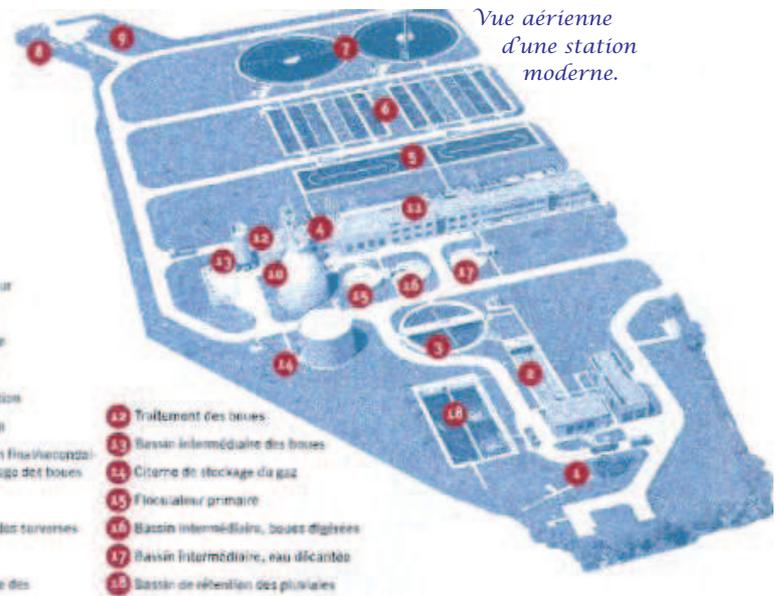
On retrouve des barrages antiques en grand nombre sur toutes les régions, tout autour de la Méditerranée.



au fil de l'eau...



Usine de potabilisation de l'eau à Louveciennes.



Habitat :

Jusqu'à une période très récente, le point de fourniture d'eau était dans la cour quand ce n'était pas une fontaine plus ou moins éloignée, de même que le lavoir ou les bains, souvent pris à la rivière. Quand l'eau arrivait à l'intérieur, c'était plus un élément décoratif que d'hygiène. La villa romaine recevait les pluies dans une citerne alimentée par l'impluvium.

Quand aux eaux usées, on allait le plus souvent dans la nature et à Paris vers 1950 on assistait encore au défilé matinal des locataires venant vider leur seau de la nuit dans le cabinet unique de l'immeuble, situé au rez-de-chaussée.

Sur la voie publique des «ouatères» permettaient de répondre aux besoins, mais pour le respect de la moralité, on les construisait avec un espace entre bas de porte et sol de manière que l'on puisse compter le nombre de pieds.

La toilette quotidienne était souvent une «toilette de chat» une cuvette et un broc faisant l'affaire.

Conjugué une éducation puritaine condamnant la vision du corps et la pratique médicale voyant dans le bain un risque sanitaire, on a très longtemps trouvé normal d'accomplir en groupe ses besoins naturels et condamné toute pratique de toilette et d'hygiène.

Ce n'est qu'après 1900 que les logements seront dotés systématiquement de salle de bain, chauffage central et eau chaude.

«Durant l'entre deux guerres, on prit un petit espace sur un morceau de couloir ou on transforma une pièce. Après la seconde guerre mondiale survint la grande période de la reconstruction, qui eut son Ministère. Pour la première fois des logements sociaux en grand nombre furent construits avec salle de bains et WC... et pour ceux dont les logements n'étaient pas équipés, les établissements de bains douches publics permirent jusqu'au milieu du siècle dernier de maintenir une hygiène personnelle». (J.P. Goubert). **A suivre.**

Gérald GUÉRIN (67)

REPORTAGE

LA SOUFFLERIE AUTOMOBILE S2A DE MONTIGNY LE BRETONNEUX

par Jacques VINCENT

Construite à l'initiative conjointe de PSA-RENAULT et le CNAM, cette soufflerie fonctionne depuis juillet 2003.

Objectif : créer un nouveau moyen de développement et un Pole de compétences, d'où la constitution d'un «**G.I.E. Soufflerie Aérodynamiques Automobiles - S2A**».

Et la construction de 2 installations :

- Une soufflerie échelle 1/1, aérodynamique et aérodynamique
- Une soufflerie échelle 2/5, aérodynamique.

Principes :

La puissance moteur d'une voiture doit compenser les efforts de transmission, roulement et aérodynamisme.

Ce dernier compte pour 58% à 100km/h, 69% à 130 et 76% à 200km/h. La réduction du Cx. a donc été l'objet de toutes les attentions depuis 1960 et il a été réduit d'une moyenne de 48 à 28 actuellement avec un impact considérable sur l'esthétique de nos voitures.

Mais si ce travail sur les formes extérieures «supérieures» a déjà été fait avec le succès que l'on connaît, une marge importante d'amélioration est encore possible : Le «sous-véhicule» (soubassement + roues) participe en effet pour 40 à 50% dans la résistance aérodynamique totale. D'où un axe de travail supplémentaire que permet cette soufflerie.

Caractéristiques des souffleries :

Soufflerie échelle 1/1

Soufflerie aérodynamique et aérodynamique avec :

- section de la buse = 24 m²

- puissance 3800 Kw
- vitesse du vent : de 0 à 240 km/h
- traitement acoustique pour pouvoir réaliser des mesures de bruit dans et hors véhicule.

Soufflerie échelle 2/5

Soufflerie aérodynamique avec :

- section de la buse = 3,8 m²
- vitesse du vent : de 0 à 240 km/h
- prédisposé pour accueillir le traitement acoustique.

En outre les 2 souffleries sont équipées d'un **plateau tournant** avec assiette variable une balance des pesées et, sur la 1^{ère} :

- un tapis défilant entre les roues pour simuler le sol (200 km/h)
- quatre tapis pour l'entraînement des roues du véhicule (200 km/h)

Ces installations permettent donc également de :

- **Mesurer les effets du vent latéral.** La composition du vent latéral et de la vitesse du véhicule fait apparaître un «Vent apparent» et un «dérapage aérodynamique» qui peut atteindre 30° sur autoroute et même 35° lors des dépassements.

- **Faire des mesures acoustiques** dans et autour du véhicule. Des dispositifs acoustiques divers sont installés sur des mannequins logés aux places des occupants et aux jonctions de parties ouvrantes. On prend en compte la température qui peut influencer sur la veine gazeuse et sur la dilatation des pièces métalliques.

Jacques VINCENT (60)