

LIBRATIO AQVARVM

L'art romain de distribuer l'eau

Publicado en el Catalogo de la Exposición: AQUARIA. Agua, territorio y paisajes en Aragón. Zaragoza 2007

Isaac Moreno Gallo © 2007

isaacmg@wanadoo.es

TRAIANVS © 2007

Traduction française par Raymond Boutier et Jean-Claude Litaudon

La civilisation romaine et l'état de bien-être

Rome fut un exemple pour l'humanité dans l'application de la science au service de l'homme. Son droit avancé est encore la base du notre et l'art de l'ingénieur était employé dans les grandes réalisations au service du peuple, les travaux publics. Un grand réseau de routes faisait communiquer entre elles les villes de l'Empire et les eaux étaient maîtrisées pour servir l'agriculture, l'industrie et la santé de la population.

En 312 A.C. le premier aqueduc amenait une eau d'excellente qualité à Rome. A la fin de la décadence de la grande cité, ils étaient dix qui fournissaient près de mille millions de litres par jour. La moitié de cette impressionnante distribution était destinée aux bains publics et le reste aux autres consommations des deux millions d'habitants de la ville. L'équivalence de 250 litres par habitant et par jour est une quantité supérieure à ce que consomment aujourd'hui nombre de villes modernes comme Londres et New York.

En 1954, quatre de ces aqueducs furent rénovés et suffirent à satisfaire les besoins de la Rome moderne.

Les bains publics à Rome donnent une idée de l'importance de l'eau pour la citoyenneté. Ceux de Caracalla en 200 après JC avaient une capacité de 1600 personnes simultanément et ceux de Dioclétien, en 280, avaient quelques 3000 pièces.

Les voyageurs trouvaient des bains publics à proximité et à l'intérieur des villes; les citoyens ayant certain pouvoir acquis possédaient des piscines d'eau chaude et froide dans leur maison et les plus modestes, au minimum, une baignoire. Pour eux, la propreté et l'hygiène constituaient un mode de vie indispensable.

Les édiles supervisaient la qualité des aliments, le nettoyage des chemins et le fonctionnement correct des aqueducs.

La salubrité était ancrée dans le monde romain jusque dans la façon de se débarrasser des cadavres. La crémation était le système universel qui fut seulement remplacé par l'inhumation pour les croyances chrétiennes en la résurrection de la chair.

De cette façon, les mesures sanitaires et hygiéniques du monde romain ne sont pas parvenues à bien s'insérer dans le XX^e siècle et cela ne s'est produit que dans le monde dit premier ou monde occidental.

Satisfaction de la demande

L'approvisionnement des eaux aux populations du monde romain était une nécessité politique et sanitaire. Il aurait été inexcusable pour le maintien du mode de vie romain que l'équipement d'eau aux populations ne soit résolu avant même d'autres travaux publics pourtant indispensables au développement de la cité.

La possibilité technique d'approvisionnement d'eau potable aux cités conditionnait dans la plupart des cas le propre établissement de celles-ci, y compris la position exacte du noyau urbain. Vitruve indique clairement la nécessité de trouver des eaux en quantité et qualité suffisantes qui rende possible le développement de la ville, ainsi que la façon de vérifier sa qualité, de l'acheminer et de la distribuer¹.

Pour les gouvernants romains l'approvisionnement de l'eau devint une priorité telle qu'un service essentiel comme celui-ci était soigneusement fourni, légiféré et administré.

Frontin² assumait la charge d'administrateur des eaux en 97 après JC, selon ses propres mots, comme un honneur reçu de l'empereur Trajan. Grâce à l'homme rigoureux et minutieux qu'il fut, nous connaissons l'importance de l'administration des eaux dans les villes et nombre de détails législatifs et techniques que l'on maintenait, tels qu'il les a décrit minutieusement dans son oeuvre.

L'importance de la ressource était telle, que les canalisations étaient protégées légalement et physiquement non seulement dans leur tracé strict mais dans une ample bande en forme de zone de police pour ceux qui s'installaient près de la signalisation où ils pouvaient lire les limites d'utilisation établies.



Pierre de signalisation de l'aqueduc du Gier (Lyon), trouvée à Chagnon:

« Par ordre de l'Empereur César Trajan Adrien Auguste, il est interdit de labourer, semer ou planter dans cet espace de terrain destiné à la protection de l'aqueduc ».

¹ VITRUVÉ. Livre VIII. *Les dix livres d'architecture*.

² FRONTIN. *De aquaeductu urbis romae*.

Il est certain que, profitant du terrain public mal surveillé, ils parvinrent à établir dans les derniers moments de l'Empire, quand apparut la coutume chrétienne d'enterrer les morts, des tombes à côté des aqueducs³, avec le grave problème sanitaire que cela engendrait. Récemment on a découvert un bon nombre de sépultures près de l'aqueduc du Gier, à Chaponost, au lieu dit les Viollières.

Il existait des personnes chargées de la surveillance, de la réparation et de l'entretien des canaux. Les lois établissaient clairement les peines et sanctions économiques inhérentes à la non-exécution, aux infractions et y compris aux vols d'eau et destructions du canal qui pouvaient se produire et qui de fait se produisaient, comme le raconte Frontin⁴ :

Une seconde différence est due au fait qu'une quantité d'eau est recueillie dans le réservoir de prise d'eau, une autre, bien inférieure, se trouve dans les boîtes de connexion et enfin la plus petite dans le lieu de distribution. La cause de ce fait est la fraude des fontainiers, que j'ai surpris à détourner l'eau des conduits publics au profit des particuliers. Mais aussi la majorité des propriétaires, ayant des terres au bord desquelles passe l'aqueduc, percent les structures des canaux d'où il résulte que les conduits publics ont leur parcours normal interrompu au bénéfice de particuliers ou pour l'usage de leurs jardins.

Dans l'État de Droit qu'était l'état romain, l'intérêt public primait de façon extraordinaire sur l'intérêt privé dans tous les cas⁵ :

... Le Sénat, prié de donner son avis sur le sujet, prit la décision suivante: qu'on ne permette à aucune personne privée de faire des prises d'eau sur les conduits publics et qu'à toutes celles auxquelles on ait accordé le droit de dévier l'eau, le fassent dans des réservoirs de distribution...

Le droit d'eau concédée ne se transmet ni à l'héritier, ni à l'acheteur ni à aucun nouveau propriétaire des domaines. Aux bains publics on octroyait, depuis longtemps auparavant, le privilège de conserver à perpétuité l'eau qui leur avait une fois été accordée. Actuellement toute concession d'eau est renouvelée avec le nouveau titulaire.

Le zèle à satisfaire continuellement la demande prévoyait les éventualités pouvant interrompre la fourniture⁶ :

De même dans toutes les parties de la Ville, les fontaines publiques, autant les nouvelles que les anciennes, ont reçu pour la plupart deux prises d'aqueducs différents de sorte que si par accident l'une d'elles devenait inutilisable, l'autre vienne suppléer le service.

Les techniciens romains savaient comment éviter que l'approvisionnement ne se voit affecté longtemps en cas d'avarie⁷ :

Personne ne mettra en doute, je pense, que les conduits les plus surveillés doivent être ceux qui sont le plus près de la ville, c'est-à-dire, ceux qui sont construits en pierre de taille à partir du septième mille, parce que non seulement ce sont une oeuvre d'énorme dimension, mais parce que chacun supporte

³ *Idem.* CXXVII. En relation avec le rapport présenté par les consuls Elius Tuberon et Paulus Fabius Maximus déplorant que les accès des aqueducs atteignant la Cité étaient envahis par des tombes, édifices et plantations d'arbres, le Sénat, questionné sur son avis quant au respect, a pris la décision suivante: "...il a été décidé qu'à proximité des sources, arcs et murs, reste dégagé d'un côté et de l'autre, un espace de 15 pieds, et qu'aux alentours des canaux souterrains et galeries à l'intérieur de la ville et des édifices contigus extérieurs, un espace de 5 pieds serait laissé libre de part et d'autre..."

⁴ *Ibidem.* LXXV.

⁵ *Ibidem.* CVI et CVII

⁶ *Ibidem.* LXXXVII. 5.

⁷ *Ibidem.* CXXIV.

plusieurs conduits. Et s'il était nécessaire de les interrompre, ils laisseraient la ville privée de la plus grande partie de l'approvisionnement en eau.

Il y a, toutefois, des solutions pour affronter également des difficultés de ce type: on construit un échafaudage qu'on élève jusqu'à la hauteur du conduit endommagé, puis une couche de tuyaux de plomb est raccordée dans l'espace de l'aqueduc rompu.

L'effet publicitaire de l'eau

Les gouvernants obtenaient le respect et l'admiration de la population par la construction de bâtiments publics et parmi eux, ceux destinés à l'administration de l'eau, étaient les plus appréciés.

L'effet bienfaiteur qu'avaient les aqueducs sur le peuple, était la meilleure publicité que les gouvernants et les potentats pouvaient avoir à cette époque et évidemment ils ne rataient pas l'occasion de perpétuer le fait dans des inscriptions placées à ce propos.



Interprétation de l'inscription publicitaire qui existait en lettres métalliques incrustées dans l'aqueduc de Ségovie selon A. Ramirez Gallardo, 1975.

Nous supposons que les actes inauguraux de ces ouvrages ne garderaient que peu de similitude avec ceux réalisés aujourd'hui sur la grande oeuvre publique.

Les ouvrages de conduction des eaux, depuis leur lieu d'origine jusqu'à leur lieu de distribution ou de mise en réserve, étaient souvent techniquement compliqués et toujours coûteux. Mais la population n'appréciait pas suffisamment ces réalisations si elles restaient finalement cachées, comme cela se produisait le plus souvent.

Peut-être, pour ces raisons, on optait en nombreuses occasions pour des oeuvres magnifiques douteusement nécessaires mais d'un effet publicitaire indubitable. Il y a beaucoup de cas où les grandes arches auraient pu être remplacées par des siphons au moyen de tuyaux, aussi efficaces et moins onéreux à construire.

L'équilibre entre le coût des siphons avec tuyauterie (*fistulae*) ou celui des arcades de sujétion du canal (*arcuationes*), n'était pas toujours résolu en faveur de l'économie et, dans le cas de proximité de noyaux habités se résolvait intentionnellement en faveur des arcatures, dont le spectacle avait un impact sur la population et perdurait la mémoire du promoteur durant des générations de façon supérieure à aucune autre.

Beaucoup de gigantesques et coûteuses arcatures comme celles de Ségovie, Tarragone ou du grand Pont du Gard de Nîmes ne résisteraient pas à une étude économique de construction et d'entretien avec des solutions basées sur d'autres modes de conduction par tuyauteries. Le cas de l'aqueduc du Gier à Lyon sert d'exemple, où ont été construits jusqu'à quatre énormes siphons, l'un d'eux de 2660 mètres de longueur et 122 mètres de flèche, en constatant en eux un fonctionnement hautement efficace durant la vie de l'aqueduc.



Réservoir de chasse (amont) de l'aqueduc du Gier à Soucieu-en-Jarrest, au lieu-dit "la Gerle", avec les orifices et la rampe d'appui des tuyaux de plomb qui s'appuyaient sur un rampant.

Les sérieux inconvénients d'entretien des arcatures ne passeront pas inaperçues à Frontin⁸ :

L'action du temps qui passe ou l'inclémence du mauvais temps endommagent ordinairement les parties de l'aqueduc soutenues par des arcades ou celles qui étaient appliquées aux flancs des montagnes et, parmi les arcades, celles qui traversent un ruisseau. Et précisément pour ce motif, les réparations pertinentes doivent être exécutées avec une rapidité diligente. Les parties souterraines qui ne se trouvent pas à la merci des rigueurs du gel ni des chaleurs, sont celles qui subissent le moins de dégâts.

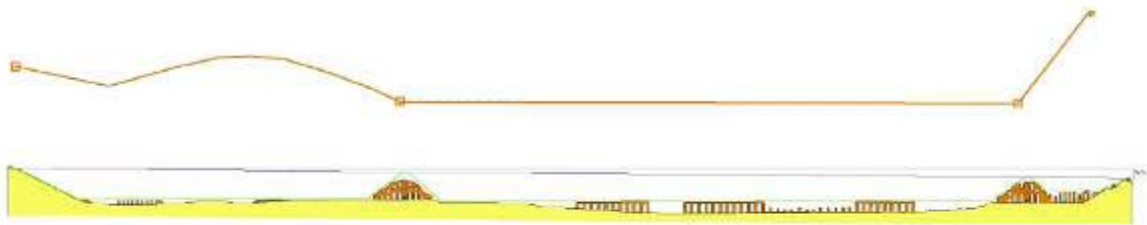
D'autres cas connus dans l'Empire se prêtent à une analyse particulière. Le siphon d'Aspendos (Turquie) est en réalité la succession de trois raccords réunis entre eux par deux tours de décharge. La tuyauterie de pierre reste supportée à l'horizontale en hauteur par des arches sur une grande longueur, en maintenant constante la pression supportée sur tout le trajet entre les tours. De cette façon on arrive à réduire énormément le volume des superstructures au lieu de diriger l'eau sous pression. Peut-être, l'étude économique d'une solution en tuyaux de plomb, la majeure partie soutenue sur le terrain, ne fut pas suffisamment rentable et on opta pour le spectaculaire. Et le résultat final est 1670 mètres d'aqueduc en tuyauterie de pierre élevée sur des arches.

⁸ *Ibidem.* CXXI.



Tour de décharge de pression de l'Aqueduc d'Aspendos (Turquie). Photo: J.C. Litaudon.

En dessous, schéma longitudinal général du système de siphons d'Aspendos.



Utilisation de l'eau:

Comme aujourd'hui, l'eau dans le monde romain était en grandes quantités destinée à l'agriculture. On a construit des barrages qui emmagasinaient l'eau destinée à l'irrigation dans tout l'Empire en augmentant la production et la richesse agricole de façon notablement importante, dont aujourd'hui quelques-uns sont encore conservés: en Espagne sont remarquables ceux destinés à ces fins, comme celui d'Almonacid de la Cuba (Saragosse), celui de Muel (Saragosse) et probablement celui d'Alcantarilla (Tolède). L'origine romaine de Proserpina et Cornalvo, à Mérida, a été mise en doute récemment⁹. D'autres encore, qu'on considère comme romains en Espagne, ne réunissent pas les caractéristiques structurelles ni les preuves suffisantes pour les considérer comme tels. Et ne manquent pas ceux dont les réfections et les extensions postérieures camouflent ou rendent difficile l'identification de la partie romaine, s'il y en eut, comme le cas du barrage situé à trois kilomètres de la ville romaine de Andelos (Navarre), qui se fait valoir aujourd'hui comme fournisseur d'eau potable à cette ville¹⁰.

Parfois, de simples dérivations de rivières servaient à pourvoir l'irrigation de grandes surfaces¹¹. Les utilisations industrielles n'ont pas été rares non plus, comme les moulins à farine¹² et avec des

⁹ FEIJOO MARTÍNEZ, S. 2005: *Las presas y los acueductos de Agua Potable, una asociación incompatible en la Antigüedad: El abastecimiento en Augusta Emerita*. Publicado en Augusta Emerita. Territorios, Espacios, Imágenes y Gentes en Lusitania Romana. Nogales Barrasate, T. 2005 (Ed. científica). Mérida.

¹⁰ MEZQUÍRIZ IRUJO, M. A. 2004, pp. 287-318 : *De hidráulica romana: el abastecimiento de agua a la ciudad romana de Andelos*. Dans: Trabajos de arqueología Navarra, N° 17.

¹¹ Cas du fameux canal d'irrigation de la Almozara à Saragosse, à l'origine de litige entre peuples celtibères voisins dans la vallée de l'Ebre, que fit cesser l'administration romaine à *Contrebia belaisca*, actuelle Botorrita.

¹² Avec l'archétype de la chaîne des moulins de Barbegal (Arles).

réalisations plus spectaculaires dans le monde de l'industrie minière, dont le lavage du minerai demandait parfois d'énormes quantités d'eau dans des lieux d'approvisionnement très difficile¹³.

Mais l'eau que les techniciens romains avaient essentiellement à fournir était à destination de la ville. D'elle dépendait l'hygiène, la santé et l'agrément des citoyens.

Autour des sources ayant certaines vertus surgirent des villes entières et beaucoup furent dédiées à l'eau et fondées avec leur axe dans cet élément. Rien que dans la Péninsule Ibérique, on en connaît aujourd'hui un bon nombre qui contiennent l'eau dans leur nom : *Aquae Celenae* (Caldas de Rey – Pontevedra), *Aquae Quintiae* (Baños de Guntin – Lugo), *Aquae Flaviae* (Chaves), *Aquae Querquennae* (Baños de Bande – Orense), *Aquae Oreginis* (Caldas de Malavella – Girona), *Aquae Calidae* (Caldas de Montbui – Barcelona) et *Vico Aquario* (au nord du Duero à Zamora).

Toutes les villes romaines avaient un approvisionnement en eau bien que, pour la majorité on ne connaisse pas aujourd'hui le système utilisé avec lequel on l'obtenait. Au cours de leur croissance démographique, on continuait à l'étendre par ajout de nouveaux approvisionnements provenant de nouveaux captages.

Quelques-uns seulement présentent des vestiges d'arcatures pour la canalisation mais c'est parce qu'en réalité quelques-uns seulement en ont eu. Pour la majorité, on a eu recours à la canalisation souterraine, enterrée ou en tuyauterie, raison pour laquelle aujourd'hui rien n'est connu de leur existence.

Nous avons rencontré de nouvelles difficultés pour identifier les sources romaines, tenant au fait que souvent la provenance de l'eau de ravitaillement humain n'est pas absolument connue, a été supposée sans preuves, ou s'est simplement révélée erronée et par conséquent mise en question postérieurement.

Captage

Il est nécessaire d'insister ici sur la question fondamentale de la qualité de l'eau potable comme facteur de recherche prioritaire des Romains pour l'approvisionnement, mais nos suppositions n'ont aucune valeur face aux écrits que nous ont laissés ceux qui ont vécu le problème dans ce temps-là.

Dans les textes de Frontin nous voyons jusqu'à quel point la qualité et la saveur de l'eau furent importantes à Rome, problème qui arriva à être considéré comme affaire d'état. De même, nous trouvons dans ces textes nombre de techniques employées pour obtenir la meilleure des qualités dans le captage ou destiner à des usages plus utilitaires les eaux de qualité moindre.

Frontin¹⁴ :

I : ...On m'a chargé de l'administration des eaux, charge qui concerne non seulement le profit mais aussi la santé de la Cité...

LXXXIX : *Et que dire du fait que l'esprit passionné de l'empereur, mis au service des citoyens, avec une ponctualité très scrupuleuse, lui a semblé avoir jusqu'à maintenant peu réalisé pour apporter l'eau en grande abondance, croyant avoir peu contribué à notre sécurité et notre plaisir s'il ne la faisait pas devenir plus pure et plus agréable ?*

¹³ Un cas très connu est celui de l'exploitation aurifère de las Médulas dans le Bierzo de Leon, bien que dans cette région il en existe d'autres de plus grande extension et complexité technique comme le cas de l'exploitation de la chaîne de montagnes du Teleno.

MATÍAS RODRÍGUEZ. R. 2006: *Minería romana del oro en el noroeste de Hispania*. Libro de Ponencias. III Congreso Obras Públicas romanas. Astorga, octobre 2006.

¹⁴ FRONTIN. *De aquaeductu...* op. cit.

Cela vaut donc la peine d'examiner par quels moyens il a corrigé les défauts de quelques conduites, en augmentant l'utilité de toutes. En effet, quand notre cité, à la venue des pluies, pour faibles qu'elles furent, n'a pas eu d'eaux troubles et boueuses ? Ceci se produit, non pas parce que toutes les conduites ont ce défaut naturel dès leur point de départ ou parce que celles qu'on prend à leurs sources ne devraient pas le subir, notamment la Marcia et la Claudia, dont la limpidité, parfaite à l'origine, ne peuvent être nullement troublée ou très peu par la pluie, pourvu qu'elles soient couvertes.

XC: Les deux conduites de l'Anio sont moins cristallines, puisqu'elles prennent leur eau d'une rivière et souvent elles se troublent même par beau temps, parce que l'Anio, bien que coulant d'un lac très clair, comme conséquence de la rapidité de ses eaux érode les rives et se souille avant d'atteindre les canaux. Inconvénient auquel on est exposé non seulement pendant les pluies hivernales et estivales, mais aussi durant celles de printemps, saison pendant laquelle on a sans doute besoin d'une pureté plus agréable de l'eau¹⁵.

XCI : L'Anio Nuevo souillait les autres parce que, atteignant un niveau très élevé et surtout avec un fort débit, il compensait l'insuffisance des autres. Les fontainiers incompetents le déviaient sur les canaux des autres aqueducs plus souvent que nécessaire, souillant même les aqueducs ayant un approvisionnement suffisant et particulièrement le Claudia qui arrivait par son canal indépendant tout au long de plusieurs milles et à l'intérieur de Rome se mélangeait avec l'Anio, en perdant ainsi sa grande qualité.

Nous avons découvert que la Marcia y compris, très agréable pour sa fraîcheur et sa limpidité, servait aux bains, aux foulons et même à d'autres usages indignes d'être mentionnés.

XCII : Par conséquent, on a décidé la séparation de tous les aqueducs et la distribution de chacun de façon que, surtout la Marcia, puisse être utilisé pour la boisson et que chacun des autres soit destiné à des usages adéquats avec leur qualité caractéristique. Ainsi, par exemple l'Anio Vetus qui pour de nombreuses raisons et précisément pour être capté à un niveau inférieur et moins salubre, devrait être utilisé pour l'irrigation des jardins et pour les services délétères de la Cité même.

XCIII : Et il n'a pas suffi à l'Empereur d'avoir rétabli la quantité et la qualité des autres aqueducs que déjà il envisageait la possibilité d'éliminer les défauts de l'Anio Nuevo. Ainsi il donna l'ordre d'abandonner le captage de l'eau de la rivière et de chercher à partir du lac situé au-dessus de la villa de Néron, à Subiaco, où l'eau est plus claire.

De cette façon, l'Anio prend sa source aujourd'hui au-dessus de Treba Augusta, et soit parce qu'il descend à travers des montagnes rocheuses avec très peu de terres cultivées aux environs de cette place forte, soit parce qu'il dépose ses sédiments dans les bassins où il se jette et qu'il est ombragé par les forêts environnantes, il arrive à cet endroit très frais et limpide.

Cette particularité aussi excellente de son eau, qui l'amène à égaler la Marcia dans toutes ses propriétés et même à la surpasser en abondance, remplacera l'eau sale et trouble d'autrefois, tandis qu'une inscription fera mention de l'empereur César Nerva Trajan Auguste comme récent constructeur¹⁶.

¹⁵ A cause de la forte température ambiante.

¹⁶ De nouveau la recherche de l'effet publicitaire et la rémanence de l'Empereur dans la mémoire du peuple à travers l'œuvre Publique.



Grande résurgence d'eau cristalline d'une des sources de la Joyosa (Saragosse), qui firent partie du système de captage des eaux pour *Caesaraugusta*.

Nous voyons alors que les romains cherchaient l'eau de très grande potabilité, en comprenant ainsi celle qui à l'origine était la plus claire, la plus fraîche, celle recueillie à une plus grande altitude et celle de meilleure saveur.

Ensuite ils insistaient pour maintenir à tout prix ces critères, en couvrant les canaux et en évitant les rayons solaires, en évitant l'entraînement de matières solides par la diminution de la vitesse de l'eau et en éliminant le contact avec les matériaux pouvant être érodés.

Dernièrement, sont apparues des thèses qui viennent confirmer ces efforts impériaux que nous décrit Frontin. Après une étude des techniques de construction qui conclut que les barrages du Mérida (Espagne) ne sont pas d'origine romaine, le problème s'achève en posant la question de la destination de l'eau stockée, stagnante ou de mauvaise qualité, pour la consommation humaine dans le monde romain¹⁷.

D'autres textes classiques confirment ces inquiétudes des techniciens romains pour préserver la santé de la population.

Vitruve, livre VIII¹⁸ :

1. : *Les eaux qui s'écoulent sur des terrains plats sont saumâtres, lourdes, quelque peu tièdes et de saveur désagréable... excepté celles qui proviennent des montagnes, qui, en suivant un parcours souterrain, jaillissent au milieu de la plaine ; à l'ombre des arbres, elles sont aussi agréables que les eaux des sources de haute montagne.*

S'il y a des sources qui font couler l'eau à découvert, il sera simple d'en disposer ; mais si elle n'affleure pas à l'extérieur, il faut la chercher et capter ses sources sous terre.

3 : *Pour tout cela, il faut mettre la plus grande attention et l'habileté dans la recherche et bien choisir les sources pour protéger la santé des hommes.*

¹⁷ FEIJOO MARTÍNEZ, S. 2005: *Las presas y los acueductos de Agua Potable, una asociación incompatible en la Antigüedad...* ob. cit.

¹⁸ VITRUVIO. *Les dix livres...* op. cit.

6 : Son ouvrage de maçonnerie doit être voûté, afin de protéger l'eau des rayons du soleil.

Paladio I¹⁹ :

4 : La salubrité de l'eau se reconnaît ainsi : avant tout, qu'elle ne provienne pas d'étangs ou de mares...

17 : Il s'avèrera hygiénique de conduire l'eau dans des tuyauteries d'argile et de la recueillir dans une citerne couverte ; donc l'eau de pluie est la meilleure de toutes à boire, jusqu'au point où, même si on peut avoir recours à l'eau des rivières, qui n'est pas saine, il faut la laisser pour les bains et la culture des potagers.

Par conséquent, nous devons considérer comme juste la conclusion que l'eau potable dans le monde romain était cherchée principalement dans les sources de qualité, dans des galeries de captage réalisées à cet effet ou dans des eaux de montagne, froides et de qualité, captées à partir de petits lacs ou de ruisseaux de montagne. Les puits couvraient seulement les approvisionnements pour lesquels il était impossible de procéder aux captages mentionnés précédemment.

Les barrages, étant un stockage d'eau, ne pouvaient réunir la qualité suffisante à la salubrité recherchée et si parfois ils y parvenaient, cette qualité n'était ni constante ni vérifiable par la technologie romaine, qui pour ces cas, se basait sur des méthodes empiriques.

Compte tenu de la possibilité de capter les sources et la technique suffisante pour amener l'eau de loin, voire de très loin, le risque de confier la santé de la population à de l'eau stockée, aussi bonne soit-elle, était très élevé et de cette façon éloigné des usages, de l'intelligence et du pragmatisme romain.



Un des regards des galeries de captage de l'aqueduc de Rabo de Buey à Mérida. Une importante nappe aquifère fut interceptée par un système de galeries horizontales qui ont été ensuite canalisées jusqu'à *Emerita Augusta*. Aujourd'hui l'eau continue à circuler dans la conduite.

Nous connaissons plusieurs cas de captages éloignés de plus de 100 km de la ville qu'ils approvisionnaient, mais les parcours de 50 à 80 km entre les sources et la ville étaient très courants. Cela arrivait dans des régions qui, en outre, se caractérisaient pour ne pas être en manque d'eau, par exemple dans les Gaules où les aqueducs de Nîmes et d'Arles ont plus de 50 km et deux des aqueducs de Lyon ont respectivement 70 et 86 km. En Allemagne, celui de Cologne fait 95 km.

¹⁹ PALADIO: *Tratado de Agricultura*. Biblioteca Clásica Gredos, nº 135. Traducción Ana Moure Casas (1990).

Il existe pas mal de cas où les captages ont été mal identifiés, aux origines dont les romains ne se seraient jamais servis, appuyant les théories qui confirmaient que les rivières ou les barrages auraient servi à l'approvisionnement d'eau potable.

Tel est le cas de l'actuelle Saragosse, où depuis des années on a admis que le rio Gállego était dévié à 20 km à peine de la capitale pour fournir de l'eau du ruisseau même à la population romaine²⁰.

Toutefois, à plus petite distance encore, on trouve les sources très puissantes qui approvisionnèrent la ville de *Caesaravgusta*, dont nous avons eu des informations documentaires de leur utilisation par les romains²¹, dont nous avons personnellement eu connaissance et qui par leur puissance, leurs qualité, niveau et distance, servirent non seulement d'approvisionnement à la cité romaine mais auront conditionné de manière décisive le lieu de sa fondation.

On peut dire aujourd'hui que Saragosse est là où elle est parce que ces sources sont là où elles sont.

Ce groupe de sources, situées près des lieux de la Joyosa et Marlofa, à quelques 19 kilomètres à l'ouest de Saragosse, jaillit encore aujourd'hui avec un débit impressionnant, une eau cristalline et fraîche. Aujourd'hui, toutefois, elles fournissent uniquement de l'eau d'irrigation au canal de la Almozara qui recueille son débit pour qu'il ne se perde pas dans la rivière Ebre.

Avec à peine un mètre de pente pour chaque mille de distance, l'eau atteignait le point le plus élevé de la ville de *Caesaravgusta* avec un débit qui, à défaut de calculs non effectués, par le nombre et la diversité des sources et l'enfouissement anthropique de certaines d'elles, serait en tout cas énorme, démesuré même pour l'époque. Aujourd'hui même, si elles n'avaient pas été détruites, enterrées et récupérées sans égards et en appliquant les améliorations opportunes de captage au départ, elles aideraient en quantité et en qualité à l'approvisionnement de l'actuelle population de Saragosse.



Source puissante dans la Joyosa (Saragosse), aujourd'hui sous-employée malgré son débit, qui fait partie d'un grand groupe dont on a recueilli l'eau pour Caesaravgusta.

²⁰ GONZÁLEZ TASCÓN, I. 1994: *El Acueducto Romano de Caesaraugusta*. CEHOPU. MOPTyMA.

²¹ Fondamentalement du mathématicien Josef Costa du XVII^e siècle, dans un rapport où il proposait de reprendre les captations romaines pour l'approvisionnement de Saragosse. Publié par : BLÁZQUEZ HERRERO, C. 2005, p. 20 y ss.: *Zaragoza. Dos milenios de agua*.

Et pour finir avec un autre cas proche de celui-ci, nous mentionnerons celui de la ville romaine de Bilbilis. La ville romaine dispose d'un nombreux et complexe système de réservoirs de stockage et distribution, situés dans la colline où l'on a construit la ville. Cela montre aussi l'évidence d'une importante consommation d'eau pour l'existence de plusieurs piscines publiques dans sa zone plus haute que la grande majorité des réservoirs existants ne pouvaient approvisionner.

Bien que les réservoirs étaient installés de préférence sur les sommets de la colline, lieux avec bassin de réception sans valeur, et bien qu'ayant une précipitation pluviométrique moyenne annuelle de seulement 300 mm, ce qui jusqu'à présent a été écrit sur l'approvisionnement de Bilbilis est qu'il était réalisé au moyen de l'eau pluviale emmagasinée dans ces citernes²²²².

Mais, les conditions orographiques et hydrologiques n'ont pas varié depuis que les romains s'installèrent ici et tous les facteurs intervenants suivent dans son site :

Les sources de Marivella, situées à trois kilomètres à l'est de Bilbilis ont toujours fourni un débit et une qualité exceptionnels, jusqu'à ce que leur eau soit vendue à Calatayud par les porteurs d'eau, jusque dans les années 50 du XX^e siècle, l'annonçant à voix haute dans les rues comme « eau de Marivella », en guise de marque de qualité.

Récemment, son aquifère a été terriblement surexploité et réduit de niveau jusqu'à des limites inimaginables, au moyen de puits mécaniques de petits diamètres avec pompe immergée qui alimentant un hôtel et des dizaines de villas avec leurs piscines incluses. A elle seule, la grande urbanisation installée là a pratiquement asséché les meilleures sources du secteur.

La situation des sources de Marivella (cote 660 m au dessus du niveau de la mer), leur débit et leur qualité, furent sans doute la cause principale qui provoqua la découverte de *Bilbilis Italica*, là où elle est et non pas ailleurs. Il n'a pas existé de condition géostratégique plus grande que celle-ci pour la fondation de la ville dans la colline de Bámbola, ni un autre motif pour que sa trame urbaine ne dépasse pas le niveau des thermes dans cette colline, limite que pouvaient alimenter les sources de Marivella. Le niveau de remplissage entre les réservoirs et leur alimentation successive par tuyauterie, dont il reste des vestiges de certains, prouve une planification sérieuse de l'emmagasinage et la distribution à sa destination.

Mais, ils pourraient mal connaître l'approvisionnement romain de la ville ceux qui s'investiraient dans son étude tant en temps et en coût, s'ils ne disposent pas non plus de la qualification suffisante pour le construire aujourd'hui, s'ils devaient le faire.

Conduites

Nous avons vu que les canalisations étaient de préférence souterraines sur la plus grande partie de leur longueur. Ceci contribuait à maintenir la fraîcheur et la qualité de l'eau. Le canal était toujours couvert même dans les parties aériennes, sur des murs ou sur des arches,.

Les canaux de construction couverts et les galeries creusées dans la roche étaient très fréquents pour les grands débits, normalement pour de grands noyaux urbains. Mais, habituellement, dans le cas de plus petits débits, on avait recours aux tuyauteries. Celles-ci pouvaient être en pierre, en céramique ou en plomb.

²² MARTÍN BUENO, M. 1975. pp. 205-222: *El abastecimiento y distribución de aguas al Municipium Augusta Bilbilis*. Hispania Antiqua V. Valladolid



Le grand siphon de Patara (Turquie), avec tuyauterie en pierre. Photo : J.C. Litaudon.



Tuyauterie en pierre d'un des deux aqueducs connus à Sasamón (Burgos).

Les siphons étaient toujours résolus au moyen de tuyaux ou groupe de tuyaux. On disposait de fabrications spécifiques assujetties au terrain si l'exigeait la pression qu'ils devaient supporter (hauteur d'eau). Ces éléments techniques, contrairement à ce qu'on pensait, furent plus courants dans l'approvisionnement des villes, parfois avec des tailles spectaculaires.

Les fontainiers romains dominèrent parfaitement la conduction d'eau sous pression, tel que c'est démontré dans nombre de leurs réalisations que nous connaissons aujourd'hui. De l'analyse de la situation des villes de cette époque, on déduit que très peu eurent la chance d'avoir toute la conduite de leur approvisionnement d'eau fonctionnant sans devoir recourir quelquefois au moins au siphon.



Tuyauteries romaines en plomb de différents calibres. On aperçoit le cordon de fermeture de la plaque pliée qui forme le tuyau. Musée d'Arles antique.



Amphore avec laquelle on a formé un coude de 90° dans une conduite urbaine d'Arles. Musée d'Arles antique.

C'est dans les canalisations que les romains ont démontré leur domination de la technique et de l'ingénierie de l'eau. Étant parfois très longues, on leur donnait des pentes très faibles et précises du début jusqu'à la fin. Considérant la nature du revêtement du canal, ainsi que la teneur de l'eau en calcaire, on recherchait un équilibre entre pente et vitesse pour que le canal ne souffre ni d'érosion, ni de trop de concrétions calcaires.

Autrefois, comme maintenant, furent commises des erreurs à ce point de vue. On en connaît peu dans le monde romain mais celles qui ont été constatées, se payèrent très chers.

Parfois tout l'aqueduc cessa de fonctionner par excès de dépôts calcaires diminuant le débit jusqu'à le rendre inutilisable. Dans d'autres cas, il fut nécessaire de doubler la canalisation dans

des tronçons avec une pente déficiente, pour bien récupérer le débit initial réduit par l'étranglement de la concrétion ou bien pour l'obtenir suite à une erreur de calcul dans une pente qui n'atteignait pas la vitesse requise dans le tronçon. Le débit étant le produit de la vitesse de l'eau par la section du canal, dans les deux cas, l'aqueduc présentait le problème de débordement des eaux par-dessus la partie déficiente ou en entrant en pression dans le tronçon, en causant des dégâts au canal.



Arcatures de l'aqueduc de *Forum Julii* (Fréjus) que les romains se virent obligés de doubler dans le tronçon d'Escoffier. La pente infime provoqua de graves problèmes pour absorber tout le débit de l'aqueduc.

On disposait toujours de puits de regards régulièrement répartis pour faciliter l'entretien du canal. Dans les galeries creusées dans la roche, parfois, ces puits servaient à faciliter le creusement simultané sur plusieurs fronts et l'évacuation des matériaux, à ventiler le conduit, à maintenir le niveau et la direction de l'ouvrage et enfin à baliser en surface le tracé, en contrôlant la zone d'affection du canal.



Puits de regard de 35m de hauteur, dans une des galeries souterraines de l'aqueduc de *Vxama Argelae* (Soria).

Le contrôle géométrique de ces canaux souterrains dont disposait l'ingénieur romain était quasi-total. Bien que beaucoup de ces canaux soient aujourd'hui inconnus, on sait que les plus grandes prouesses de ce type ont été réalisées dans le domaine minier, où les demandes de canalisation d'eau pour l'exploitation minière même, ou pour le drainage des exploitations, atteignent des caractéristiques impressionnantes.

A titre d'exemple, nous pouvons citer le cas de Coto Fortuna de la zone minière de Cartagena-Mazarrón (Murcie) où on a fait circuler l'eau par une galerie de 1,8 km de long, 1,30 x 2 m de section et à 70 m au-dessous de la surface²³.



Canal creusé dans la roche à une courbe de niveau proche de la surface et couvert ultérieurement de dalles. Cité romaine de *Termes* (Soria).



Canal en galerie souterraine creusé profondément dans la roche. Aqueduc de *Vxama* (Soria).

²³ GUILLÉN RIQUELME, M. C. 1997: *Mazarrón 1900*. Ayuntamiento de Mazarrón.



Probable rectification du tracé dans une des galeries souterraines de l'aqueduc d'*Vxama*. La section uniformément creusée jusqu'à ce point, est déviée pour rencontrer un tronçon qui commençait à être creusé en sens contraire.

Développer avec précision à ce niveau du sous-sol revêt une difficulté technique beaucoup plus grande, surtout par rapport au niveau et à la direction, que la construction de beaucoup des arcatures magnifiques qui doivent supporter les canalisations aériennes.

Il est bien certain, que quelques grandes arcatures, encore conservées, constituent des ouvrages d'architecture impressionnants. Comme nous l'avons indiqué, plusieurs d'entre elles avec un caractère démesuré pour la fonction requise. C'était un objet publicitaire parce qu'avec elles on pouvait impressionner facilement la population, comme cela se produit encore aujourd'hui, mais cela n'était pas possible avec les grandes galeries souterraines, réalisations techniques qui de nouveau restent aujourd'hui méconnues ou mal évaluées.

Néanmoins, la majeure partie de la longueur des canalisations se trouve juste sous la surface. La technique la plus utilisée consistait à creuser le canal en suivant la courbe de niveau appropriée et à le couvrir de terre ensuite. Après avoir construit les parois il était nécessaire de les doter d'un système de couverture tel que voûtes, dalles, etc. Quand le débit à conduire est moindre et par conséquent moindre aussi la section nécessaire, on enterrait généralement un tuyau de pierre ou de céramique, qui pouvait conduire l'eau courante dans de meilleures conditions d'étanchéité.

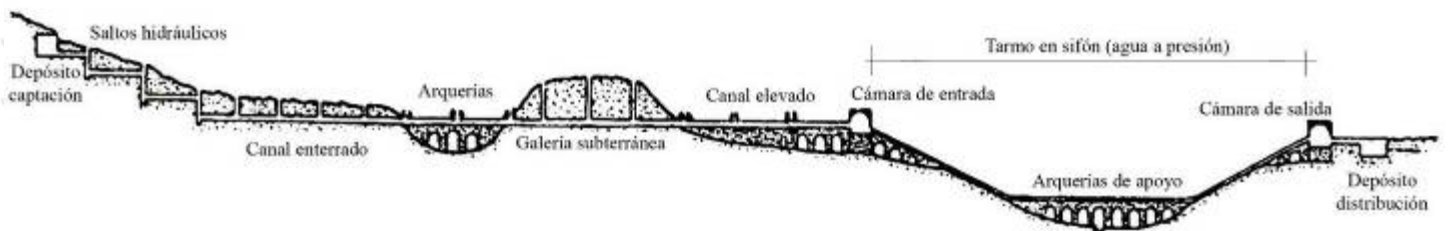


Schéma longitudinal général d'un aqueduc romain avec les différentes solutions de construction habituelles dans ces ouvrages. Dessin de P. Leveau avec notre nomenclature.

L'étanchéité des grands conduits était assurée au moyen de mortiers imperméabilisants placés dans les assemblages des pièces composant le canal, ou revêtant toute la surface mouillée du canal

quand il était ouvrage de maçonnerie. Un mélange de chaux et de céramique broyée (*opus signinum*) était le mortier universellement employé pour cette fonction.



Revêtement d'*opus signinum* vu dans l'un des piédroits abîmés de l'aqueduc du Gier (Lyon).

Les tuyaux d'argile cuite furent fréquemment employés, mais ceux de plomb étaient de meilleure qualité et supportaient mieux les pressions et les mouvements provoqués par la pression dans les siphons.

Les tuyaux de plomb romains sont rarement parvenus jusqu'à nous. Ceux qui étaient restés en surface ont été pillés après la chute de l'Empire pour la valeur du métal. Des milliers de tonnes de tuyaux de plomb qui composaient les quatre gigantesques siphons de l'aqueduc du Gier à destination de *Lugdunum*, actuel Lyon, on n'a retrouvé nulle trace du précieux métal. Il a seulement survécu dans le nom d'une colline sur laquelle se tenait un des siphons, celui de Génilac, aujourd'hui appelé « la plombière ».

En fin de conduction se trouvent les réservoirs de stockage et de distribution (*castellum aque*). Ces réservoirs pouvaient consister en un très grand, quelques plus petits communiquant entre eux, ou un ensemble formé des deux types.

A l'occasion, le réservoir lui-même constituait une grande œuvre d'ingénierie par sa taille. Il est célèbre le cas de Carthage (Tunis), où le réservoir de la ville se composait de quinze chambres parallèles, allongées, de 7,4 x 102 m de longueur chacune. Un véritable colosse qui emmagasinait près de 60.000 m³ d'eau. Encore que plusieurs autres de dimensions énormes sont connus dans tout l'empire, l'orographie des villes obligeait à chercher parfois d'autres solutions moins spectaculaires mais non moins efficaces.



Vue d'une des énormes chambres des réservoirs romains de Carthage (Tunis). Photo : J.C. Litaudon.



Chambre de la grande citerne de *Vxama* (El Burgo de Osma-Soria), construite en béton (*opus caementicium*) en forme semi-circulaire.

A partir de là, un énorme réseau de tuyaux de plomb de différentes sections et capacités distribuait l'eau à tous les terminaux de la ville. Les préférences selon Vitruve étaient dans cet ordre : les fontaines publiques, les thermes et enfin les maisons particulières. Presque toutes les grandes villes romaines ont trouvé un débit suffisant pour combler ces nécessités et d'autres encore plus superflues comme l'irrigation des jardins et le nettoyage des rues, comme l'indique Frontin dans ses écrits.

<http://www.traianvs.net/>



Chambre de distribution du *castellum aque* de *Nemeasus* (Nîmes). Les orifices calibrés distribuient l'eau courante aux différents quartiers de la ville romaine.

Épuration

La qualité de l'eau utilisée par les romains était généralement excellente dès le captage. Ce facteur était scrupuleusement recherché et presque toujours obtenu. Ils n'avaient pas de possibilités de purifier l'eau au point de vue bactériologique et chimique et en aucun cas ils ne pouvaient risquer que l'eau contienne des polluants de ce type.

Rechercher la meilleure qualité et prévenir sa dégradation dans la canalisation étaient par conséquent la méthode employée, ce qui n'était pas mal. Toutefois, les impuretés minérales en suspension étaient fréquentes. Elles venaient souvent de la source elle-même mais, surtout, étaient générées dans le parcours de l'eau dans le canal, de l'usure duquel en provenaient beaucoup.

Pour éviter une vitesse élevée de l'eau qui occasionne des érosions dans le canal, la pente du canal était soigneusement étudiée et calculée en fonction de la nature de la surface mouillée. Indépendamment de la différence de cote entre le captage et l'arrivée, c'était le facteur fondamental qui conditionnait la pente.

Mais la roche dans laquelle on creusait les galeries, les revêtements imperméabilisants, les terres qui parvenaient à pénétrer dans le canal tout au long de l'aqueduc, etc., provoquaient des impuretés. Pour cette raison, on aménageait des chambres spéciales où on forçait la diminution brusque de la vitesse de l'eau, en élargissant subitement la section du canal. De cette façon les particules en suspension se déposaient au fond, par décantation.

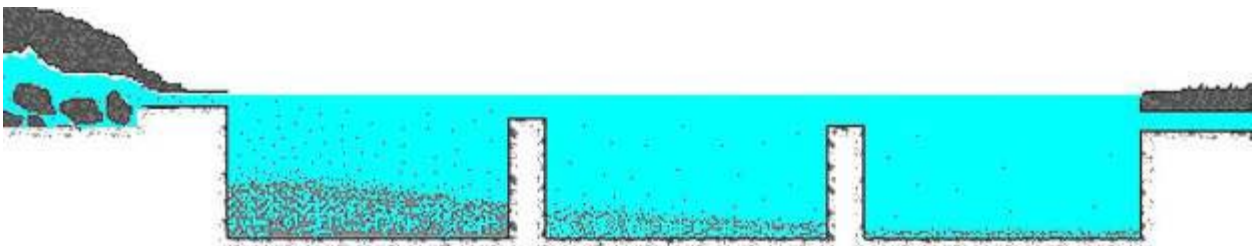
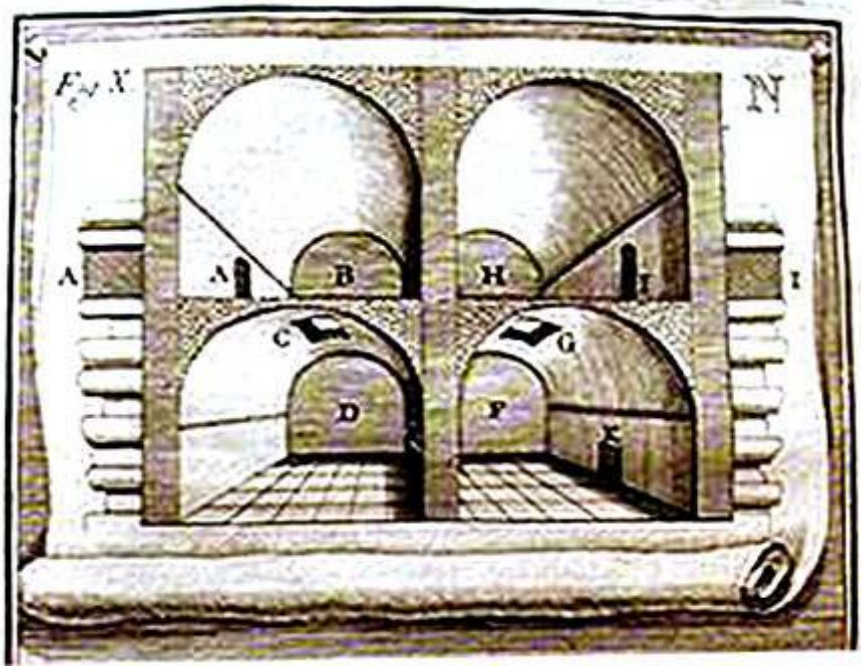


Schéma d'épuration en amont près de la source à base de différentes chambres de décantation.

Ces décanteurs étaient établis à la sortie même de la source quand on le pensait nécessaire, obtenant ainsi un premier dessablement très utile. D'autres fois ils étaient établis sur les lieux d'arrivée d'eau en ville et très souvent c'étaient les propres réservoirs de distribution qui en faisaient fonction.

Ces réservoirs, divisés en plusieurs compartiments dans leur plan et même formés de plus d'un niveau de chambres de stockage, arrivaient à réduire énormément la vitesse de circulation de l'eau en l'obligeant, en outre, à effectuer un parcours le plus long possible jusqu'à la décantation totale des matières solides en suspension qu'ils transportaient.



Reproduction d'un réservoir de décantation décrit par Vitruve dans une des premières éditions imprimées de son œuvre.



Réservoir romain adapté au schéma décrit par Vitruve. Situé sur la colline de Fourvière de Lyon. Photo : J.C. Litaudon.

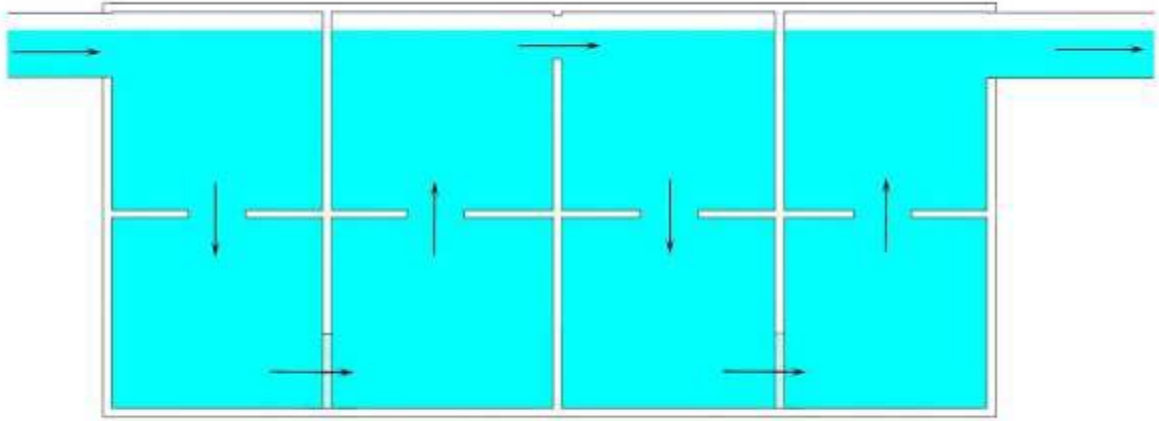
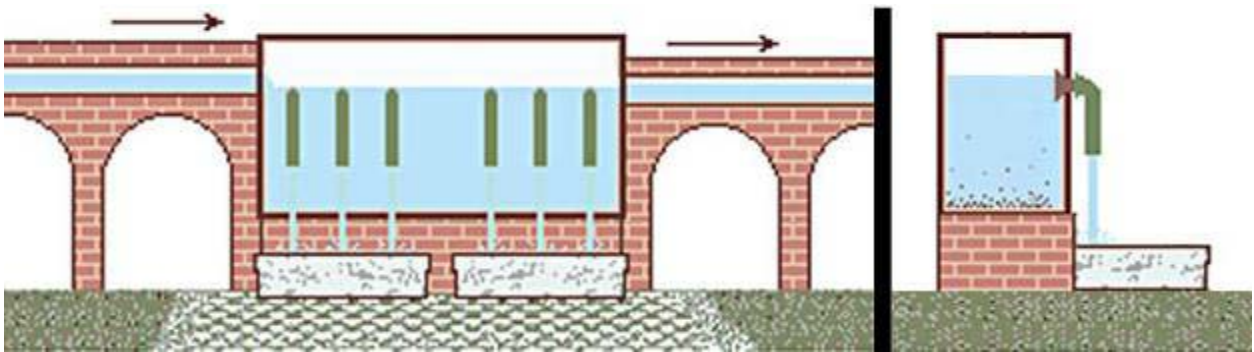


Schéma de fonctionnement d'un grand réservoir de décantation formé de plusieurs chambres sur deux niveaux, où l'eau est obligée de circuler lentement.

Si ces systèmes n'étaient pas suffisants, on construisait des chambres de décantation intermédiaires dans le parcours en profitant pour cela des constructions créées pour d'autres fonctions, comme les bassins intermédiaires de prise de débit pour d'autres usages, les fontaines publiques, ou les puits de regard.



Fontaine aménagée en chambre de décantation intermédiaire dans un aqueduc.

Ces puits, construits de bonne taille, disposaient dans leur fond surbaissé ce qu'on appelle sabliers qui, nettoyés périodiquement, jouaient un rôle important de décanteurs intermédiaires²⁴.

²⁴ Dans l'aqueduc du Gier, à Lyon, un puits de regard sur deux est de taille supérieure pour diminuer plus la vitesse de l'eau et faciliter la décantation, en disposant de sablier.

LITAUDON, J.C. 2004, p. 81 : *Les aqueducs antiques. Conduire l'eau (aquaeductus)*. Elementos de Ingeniera Romana. Libro de ponencias. Congreso Europeo « Las Obras Publicas Romanas ». Taragonna, novembre 2004.



Détail du bassin de decantation, ou bassin de sédimentation, d'un des puits de regard de l'aqueduc du Gier (Lyon). Phot : J.C. Litaudon.

Les clés du problème

De l'observation et de l'analyse attentives des ouvrages d'approvisionnement d'eau qui sont parvenues jusqu'à nous, nous avons déduit les techniques de captage et de canalisation employées par les romains, leurs caractéristiques de construction, les matériaux employés et leur excellence en général.

Ces aqueducs fonctionnèrent durant trois à quatre siècles avec un haut niveau d'efficacité, permirent la santé de la population et la survivance d'une civilisation très avancée dans tous les domaines scientifiques.

Mais ce fut la science même qui permit l'existence de ces canalisations.

Les travaux de nivellement de ces canaux, longs souvent de plusieurs dizaines de kilomètres, revêtent une difficulté remarquable, même pour les instruments optiques que nous avons utilisé à notre époque en topographie.

Les résultats obtenus par les romains sont seulement possibles moyennant un nivellement scientifique sérieux, connaissant avec précision les techniques avancées de topographie, ainsi que la forme de la terre, ses dimensions et l'influence que celle-ci a dans les nivellements de grande longueur²⁵. La connaissance de tout cela étant nécessaire, il est indispensable aussi de disposer d'instruments de précision qui permettent de recueillir les données altimétriques principales pour

²⁵ MORENO GALLO, I. 2004, pp. 25-68: *Topografía Romana*. II Congreso Europeo Obras Públicas Romanas. Tarragona, octobre de 2004. Libro de Ponencias. Tarragona.

l'étude et le projet d'aqueduc, ainsi que de transporter sur le terrain les éléments nécessaires à l'ouvrage²⁶.

Ceux qui ont eu la nécessité de creuser une rigole un peu large savent que le travail est ardu et inévitablement répétitive. Il est nécessaire de prendre les niveaux sur des tronçons courts, d'avancer avec précaution pour ne pas commettre d'erreurs et répéter l'itinéraire plusieurs fois pour assurer les résultats, en partageant les petites erreurs qui se produisent toujours.

Si nous extrapolons ce travail à un aqueduc réel bien connu, comme celui de *Nemausus* (Nîmes), de plus de cinquante kilomètres de long, où les sources sont à peine douze mètres plus hautes que le réservoir d'arrivée dans la ville et qui dispose d'une orographie accidentée, nous nous trouvons devant un défi impressionnant que les topographes actuels examineraient plus d'une fois avant de s'engager à attaquer.

Les questions suivantes se poseraient principalement au moins avant de projeter ou d'établir un budget pour l'aqueduc :

- Comment savoir que les sources de captage, à *Vcetia* (Uzès), étaient plus hautes que *Nemausus*, étant donné le peu de différence de niveau sur une aussi longue distance.
- Ceci su, comment vérifier la différence de niveau exacte qui nous garantisse la viabilité de la canalisation.
- Une fois vérifiée que la viabilité est limite (0,02 % de pente), comment être capable de creuser avec précision le canal nécessaire avec cette pente infime.
- Comment connaître la qualité réelle de l'eau en sa teneur calcaire, qui nous assure qu'avec si peu de pente, le canal ne soit pas obstrué par les concrétions calcaires.

Et une fois que les ingénieurs auront pris la décision risquée et courageuse de construire l'aqueduc, de nouveaux problèmes sont apparus :

- Il a fallu construire le canal, avec une si petite pente, dans une orographie accidentée, sans commettre aucune erreur dans le processus qui rendrait finalement inutilisable la construction..
- Il fut nécessaire de construire de grandes réserves pour une grande section de canal, puisque le peu de pente du canal et le peu de vitesse de l'eau obligeait cette solution pour maintenir le débit d'approvisionnement nécessaire.
- La grande section du canal a rendu gigantesque les structures de sujétion, incluses les arches du grand Pont du Gard, ainsi que tous les travaux d'excavation et le reste des constructions.

Toutefois, l'aqueduc fut construit soigneusement et fonctionna avec le maximum d'efficacité pendant au moins trois siècles.

D'autres aqueducs connus ont présenté de nouveaux défis. Chacun d'eux était un cas particulier, parfois simple à résoudre mais, d'autres fois, de solution compliquée.

Les connaissances scientifiques nécessaires pour mener à bonne fin ces ouvrages furent héritées des civilisations antérieures. Dans le monde grec, et en partie le monde égyptien il existait déjà des connaissances topographiques une grande utilité pour ces travaux. Ces mêmes grecs construisirent déjà de grands aqueducs.

Eratostène avait déjà déterminé le rayon de la terre avec beaucoup de précision au III^e siècle avant J.C. Thalès, Pithagore, Euclide, Hipparque et Heron, avaient développé les calculs trigonométriques suffisants pour être convertis en outils très puissants pour les travaux topographiques.

²⁶ Idem.

On connaissait avec précision l'influence de la sphéricité de la terre sur le nivellement des eaux, au moins depuis le postulat d'Archimède²⁷. On savait déjà l'effet de l'utilisation des grands rayons dans les travaux de nivellement et l'erreur qu'ils occasionnaient.

Toutefois, connaissant comme ils connaissaient le rayon de la terre et l'erreur que la sphéricité occasionnait dans les horizontales visuelles, les grands champs de vision nocturnes aidés de flambeaux, permettent la détermination des incréments de niveau avec moins d'erreur que les nivellements classiques répétés qui supportent beaucoup de changements de stations et l'accumulation d'erreurs importantes.

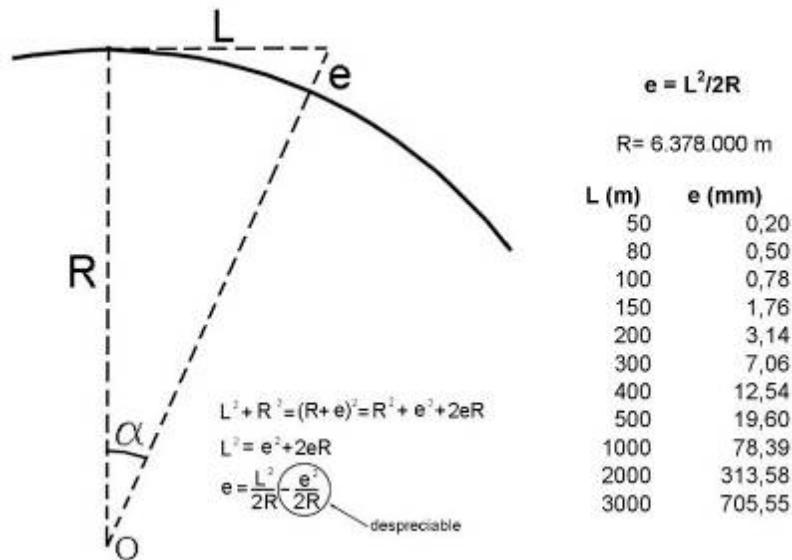


Schéma de l'erreur dérivée de la sphéricité de la terre et son influence sur les visées horizontales en fonction de l'ampleur de celles-ci.

L'instrumentation utilisée pour le nivellement des eaux est variée. On sait que la Dioptré était utilisée à des fins de nivellement mais, comme le même Vitruve nous le dit, c'est le chorobate qui était utilisé dans les nivellements de précision. Ces deux instruments ont fait l'objet d'interprétations durant les derniers siècles du fait que quelques textes classiques les décrivaient vaguement.

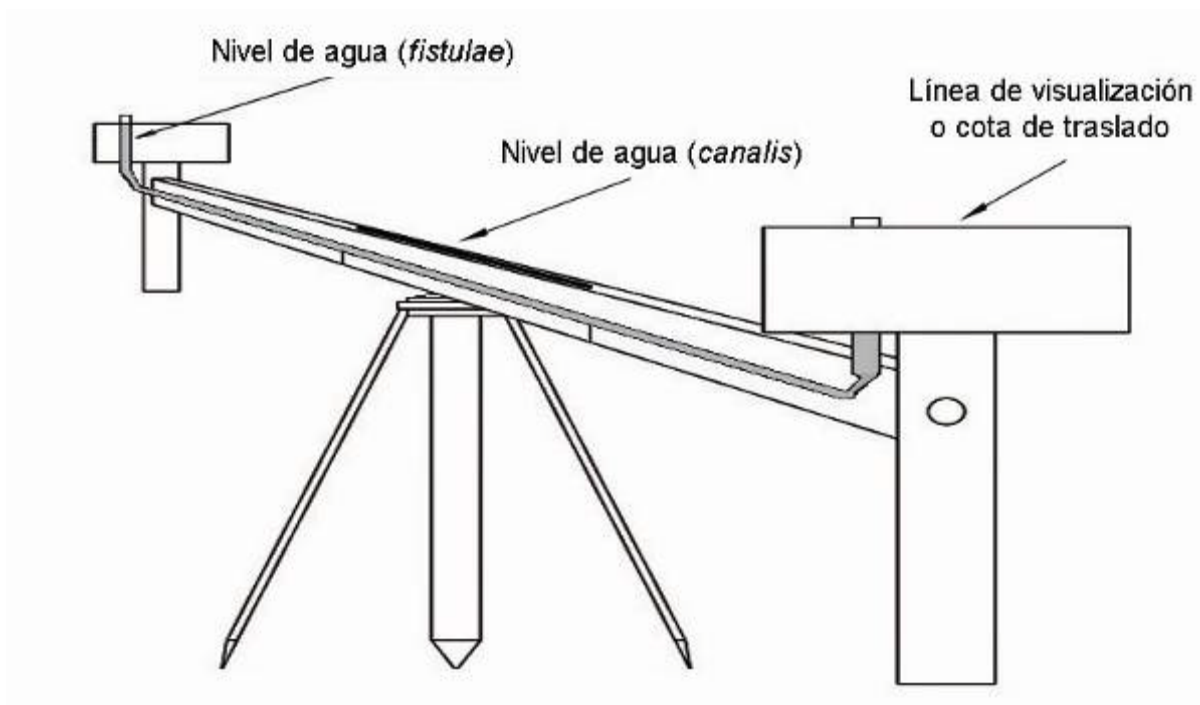
²⁷ Sujet mentionné par VITRUVÉ : *De Architectura libri decem*, liber VIII, cap. V,3 :

« Peut-être quelque lecteur des œuvres d'Archimède dirait qu'on ne peut faire un nivellement fiable au moyen de l'eau, parce que Archimède soutient que l'eau n'a pas une surface horizontale, mais qu'elle est de forme sphérique et qu'elle a son centre au centre de la terre ».



Dioptra reconstruite et présentée dans les actes de Tarraco Viva de 2006. Tarragone..

Après vérification du peu de succès des reconstructions jusqu'ici proposées, avec des appareils résultants hautement inefficaces, nous avons réalisé la reconstruction des deux instruments en suivant les descriptions des textes classiques disponibles. Ainsi, nous avons vérifié que autant la Dioptra²⁸, un véritable théodolite de l'antiquité, que le chorobate²⁹, avaient une précision et une efficacité admirables et dans tous les cas suffisants pour leur utilisation dans les grands défis de travaux publics que les romains nous ont laissés.



²⁸ MORENO GALLO, I. 2006, pp. 357-367: *Dioptra*. Nuevos Elementos de Ingeniería Romana. III Congreso Europeo Obras Públicas Romanas. Astorga, octubre de 2006. Libro de Ponencias.

²⁹ MORENO GALLO, I. 2004, pp. 25-68: *Topografía Romana...* ob. cit.

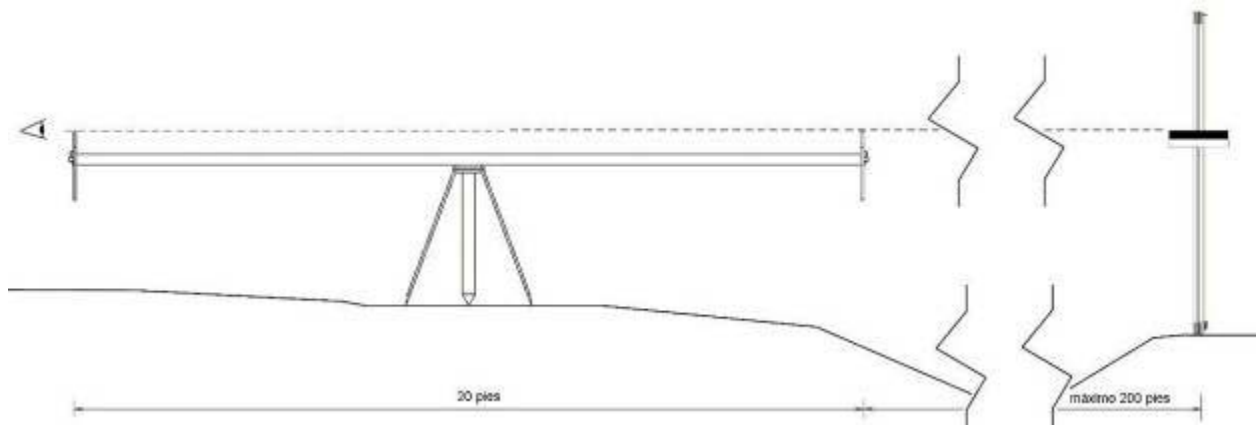


Schéma de fonctionnement du chorobate décrit par Vitruve. Reconstitué, testé et breveté par nous en 2004.

Les essais auxquels nous avons soumis le niveau romain, en comparaison directe avec le niveau moderne doté d'optique, ont donné comme résultat une précision comparable des deux et par conséquent adéquate aux nivellements les plus difficiles comme ceux que nous avons mentionnés.



Chorobate romain mis en place et prêt à l'utilisation.

« Le chorobate est une règle droite d'approximativement vingt pieds de long (environ 5,92m). Aux extrémités il possède des croisillons qui se correspondent avec exactitude, ont la même dimension et sont fixés aux extrémités de la règle en formant un angle droit ». VITRUVÉ : *De Architectura libri decem, liber VIII, cap. V,1.*

Conclusion

Les prouesses techniques rencontrées dans les aqueducs romains connus sont innombrables. Des aqueducs romains proches des 100 kilomètres de longueur existent à Cologne (Allemagne) et de 132 à Carthage (Tunis). Celui de Constantinople (Istamboul) fait plus de 240 kilomètres³⁰ et 143 kilomètres pour un seul de ceux qui approvisionnent le complexe aurifère de Las Medulas (León) dont le réseau dépasse les 600 km. Celui du Gier à Lyon fait 86 km et celui de la Brévenne dans la même capitale fait 70 km. Pergame (Turquie) Arles et Nîmes (France), approchent les 50 km. Cherchel (Algérie), Reims et Béziers (France) font entre 40 et 45 km.

³⁰ ÇEÇEN, K. 1996: *The longest roman water supply line*. Istanbul, 267 p

Si la pente moyenne de l'aqueduc de Nîmes est incroyablement de 0,2 pour mille (20 cm par kilomètre), celle de Carhaix, en Bretagne française et celle de Pergame, sont de 0,3 pour mille et celle de Reims de 0,5 pour mille.

Les systèmes de siphons que présentent les quatre aqueducs qui alimentaient *Lugdunum* (Lyon), présentent des chiffres incroyables. Les quatre de l'aqueduc du Gier totalisent plus de 5 km de long, le double siphon de l'Yzeron fait près de 6 km. Les deux du Mont d'Or totalisent quasiment 4 km et autant le seul aqueduc de la Brévenne.

Et il nous reste à découvrir beaucoup d'aqueducs romains dont les caractéristiques nous étonneront de nouveau.

Beaucoup des techniques utilisées nous restent obscures faute d'une analyse rigoureuse de ces ouvrages.

Nous ne savons pas encore si l'élévation de l'eau par des moyens mécaniques fut habituelle dans le monde d'approvisionnement d'eau romain. Malgré la faible rentabilité de ce moyen, dans une civilisation dont la technologie permettait de conduire l'eau par gravité dans des lieux invraisemblablement élevés, nous avons connu des grands réservoirs d'eau situés à des dizaines de mètres au-dessus du niveau atteint par l'impressionnant canal romain creusé dans la roche dans la ville de *Vxama*³¹.

Les associations entre les réservoirs découverts et les différentes canalisations connues ou à découvrir, ne sont pas résolues dans la majorité des villes romaines où certains de ces éléments sont apparus.

Dans d'autres cas on n'a pas résolu la situation des sources ou le tracé d'une grande partie de la canalisation. Et dans la grande majorité des villes romaines on n'a résolu aucune des inconnues qui interviennent dans le problème.

Mais certainement seul un haut niveau scientifique et technologique a permis ces réalisations et à partir de ces prémisses, on devrait attaquer les études des aqueducs romains, ainsi que tous les domaines de l'ingénierie de cette époque en général, si on veut avancer de façon sérieuse dans la connaissance de la civilisation romaine.

Bibliographie

- BLÁZQUEZ HERRERO, C. 2005: *Zaragoza. Dos milenios de agua*.
- ÇEÇEN, K. 1996: *The longest roman water supply line*. Istanbul.
- FEIJOO MARTÍNEZ, S. 2005: *Las presas y los acueductos de Agua Potable, una asociación incompatible en la Antigüedad: El abastecimiento en Augusta Emerita*. Publicado en *Augusta Emerita. Territorios, Espacios, Imágenes y Gentes en Lusitania Romana*. Nogales Barrasate, T. 2005 (Ed. científica). Mérida.
- FEIJOO MARTÍNEZ, S. 2005: *Las presas y los acueductos de Agua Potable, una asociación incompatible en la Antigüedad: El abastecimiento en Augusta Emerita*. Publicado en *Augusta Emerita. Territorios, Espacios, Imágenes y Gentes en Lusitania Romana*. Nogales Barrasate, T. 2005 (Ed. científica). Mérida.
- FRONTINO. *De aquaeductu urbis romae*.
- GARCÍA MERINO, C. 2006: *Avance al estudio del acueducto de Uxama*. Nuevos Elementos de Ingeniería Romana. III Congreso Europeo Obras Públicas Romanas.

³¹ GARCÍA MERINO, C. 2006: *Avance al estudio del acueducto de Uxama*. Nuevos Elementos de Ingeniería Romana. III Congreso Europeo Obras Públicas Romanas. Astorga, octubre de 2006. Libro de Ponencias.

- Astorga, octubre de 2006. Libro de Ponencias.
- GONZÁLEZ TASCÓN, I. 1994: *El Acueducto Romano de Caesaraugusta*. CEHOPU. MOPTyMA.
 - GUILLÉN RIQUELME, M. C. 1997: *Mazarrón 1900*. Ayuntamiento de Mazarrón.
 - LEVEAU, P. 2004. L'archéologie des aqueducs romains. Ou les aqueducs romains entre projet et usage. Publicado en: Elementos de Ingeniería Romana. Congreso Europeo "Las Obras Públicas Romanas". Tarragona, noviembre de 2004
 - LITAUDON, J. C. 2004: *Les aqueducs antiques. Conduire l'eau (aquaeductus)*. Elementos de Ingeniería Romana. Congreso Europeo "Las Obras Públicas Romanas". Tarragona, noviembre de 2004
 - MARTÍN BUENO, M. 1975: *El abastecimiento y distribución de aguas al Municipium Augusta Bilbilis*. Hispania Antiqua V. Valladolid.
 - MATÍAS RODRÍGUEZ. R. 2006: *Minería romana del oro en el noroeste de Hispania*. Libro de Ponencias. III Congreso Obras Públicas romanas. Astorga, octubre 2006.
 - MEZQUÍRIZ IRUJO, M. A. 2004: *De hidráulica romana: el abastecimiento de agua a la ciudad romana de Andelos*. En: Trabajos de arqueología Navarra, N° 17.
 - MORENO GALLO, I. 2004: *Topografía Romana*. II Congreso Europeo Obras Públicas Romanas. Tarragona, octubre de 2004. Libro de Ponencias. Tarragona.
 - PALADIO: *Tratado de Agricultura*. Biblioteca Clásica Gredos, nº 135. Traducción Ana Moure Casas (1990).
 - VITRUVIO. Les dix livres d'Architecture.