

LE GÉNIE DE L'EAU DANS LA CIVILISATION ARABO-MUSULMANE ET SON APPORT À LA MÉDITERRANÉE

« D'ailleurs, il n'y a pas de plus beau sujet, ni d'art plus utile, plus profitable que l'exploitation des eaux souterraines. Ce sont elles qui rendent possibles la culture du sol et la vie des habitants » Al-Karajî (mort en 1019).

Introduction

On a étudié dans un livre récent les principaux textes fondateurs de la réflexion arabe dans le domaine de l'hydraulique. Cette branche du savoir mécanique a connu des avancées réelles et des périodes de stagnation, voire de recul. Cependant, si l'on retient la période qui va du IX^e au XVI^e siècle, on peut relever une dizaine de noms de savants et d'ingénieurs qui ont fait de la maîtrise des techniques hydrauliques l'objet essentiel de leurs préoccupations. Donald Hill a recensé plus de trois cents machines et automates décrits dans les traités arabes médiévaux. Par leur nombre et la sophistication de leurs mécanismes, ces appareils indiquent un attrait certain des Arabes pour le machinisme et leur désir de faire de cette branche du savoir humain un champ d'innovation majeure.

Après avoir parlé de l'hydraulique au temps des Califes, on étudiera les hydrauliciens, leurs œuvres et les apports divers à la civilisation de l'eau en Méditerranée.

L'hydraulique au temps des Califes : un domaine d'innovation majeure

Avant d'examiner l'œuvre accomplie par les Arabes en matière hydraulique, il est important de rappeler quelques facteurs qui furent à l'origine de l'innovation technologique islamique :

- rôle de l'islam qui a réuni sous une même religion et une même langue littéraire et scientifique d'immenses pays, auparavant isolés et opposés dans des luttes intestines ;
- rôle de l'arabe comme véhicule des sciences et langue parlée par tous les peuples, de Bagdad à Cordoue ;
- rôle, enfin, de l'Etat islamique dans l'effort d'arabisation et de traduction, dans le financement des académies, des équipes de recherche, des bibliothèques et dans l'encouragement des entreprises de mise en valeur économique.

C'est dans ce contexte d'ouverture et d'intervention volontariste que le vaste projet d'aménagement hydraulique a vu le jour dans le monde arabo-musulman. L'exemple spectaculaire est donné par les opérations de défrichement qui ont consisté dans l'assèchement des marécages et la conquête de nouvelles terres arables. Les époques de la domination omeyyade (661-750) et abbasside (750-1258) furent d'une fécondité exceptionnelle. Plusieurs chantiers furent ouverts, aboutissant ici et là à la dérivation des fleuves, à la construction d'aqueducs et de grands canaux d'irrigation, à l'édification de ponts et de barrages et à la régularisation des cours d'eau. Rien que dans les environs de la ville de Basra, on comptait plus de 1200 canaux portant les noms de leurs constructeurs ou des lieux où ils étaient réalisés. La région de la Mésopotamie fut à nouveau le théâtre de la renaissance de la civilisation de l'eau.

Une femme incarna les ambitions de cette renaissance. Il s'agit de la princesse Zoubeida (m. 831), épouse du grand Calife Haroun al-Rachîd (786-809), connu à la fois par les contes des « Mille et Une Nuits » et par l'horloge qu'il offrit à Charlemagne. L'œuvre de cette princesse est restée célèbre dans les annales par la réalisation du système d'approvisionnement en eau de La Mecque et par l'édification de plusieurs ouvrages hydrauliques (bassins, réservoirs, lacs, puits, etc.). Tous ces monuments de l'eau furent exécutés le long d'une route allant de Bagdad à La Mecque (soit un trajet de 1424 km), appelée « couloir de Zoubeida » (derb Zoubeida). L'architecture des bassins circulaires, qui aura un développement remarquable non seulement en Orient, mais aussi dans l'Occident musulman, conservera pour longtemps le style de cette femme célèbre qui a su mêler son destin à l'aventure de l'eau.

« Elle a consacré toute sa vie à son œuvre, écrit Ibn Jubayr en 1183, laissant sur la route des équipements utiles aux pèlerins, et fonctionnels jusqu'à nos jours. Sans ces monuments de l'eau, témoins de sa générosité, la route serait impraticable. Dieu seul est capable de la récompenser pour ce qu'elle avait entrepris ! » .

Dans l'entreprise hydraulique des premiers temps du Califat, les aspects techniques furent envisagés conjointement avec les aspects juridiques et institutionnels nécessaires à toute exploitation rationnelle des équipements hydrauliques. Dès le IX^e siècle, le gouverneur de la province musulmane de Khorasân, Ibn Tâhir (828-844), confia à des experts la rédaction d'un « Traité des galeries drainantes souterraines » (*kitâb al-qinâ*) comportant toutes les règles qui régissent la répartition et la gestion des eaux. Ce code devait, sinon mettre fin aux conflits entre paysans, du moins assurer leur régulation.

La renaissance hydraulique ne s'est pas limitée à l'Irak. Elle fut pratiquement généralisée à l'ensemble des provinces de l'Empire : Egypte, Syrie, Iran, Yémen, Afrique du Nord et Andalousie. La création d'un vaste espace unifié sur le plan culturel et économique a joué un rôle important dans la diffusion des conquêtes de la civilisation hydraulique et favorisé l'émergence de l'Ecole arabe de l'eau.

Hydraulique et hydrauliciens dans la civilisation de l'Islam

Les premiers ouvrages arabes de classification des sciences avaient une perception relativement claire du champ de l'hydraulique et de sa place parmi l'éventail des savoirs humains. Al-Farabî (mort en 950) lie la fabrication des mécanismes hydrauliques à la science des techniques ingénieuses (*ilm al-hiyal*), laquelle constitue la septième partie de la science mathématique. Ibn Sînâ (980-1037), tout en gardant cette filiation mathématique, a réussi à faire de l'hydraulique une discipline à part entière, au même titre que la géométrie, l'astronomie, la science des techniques ingénieuses, la science des miroirs, etc. L'hydraulique apparaît ainsi comme une branche d'*al-handasa*, ou art de l'ingénieur.

Dans la civilisation de l'Islam, la fonction de l'ingénieur (*mou-handis*) englobe des spécialités qui relèvent du génie civil (irrigation, adduction d'eau, barrages, ponts, topographie...) et du génie mécanique (fabrication des machines élévatoires).

On peut situer entre le IX^e et le XII^e siècle « l'âge d'or » de l'hydraulique arabo-musulmane. Non seulement les figures les plus importantes de l'Ecole arabe de l'eau ont vécu durant cette période, mais on a vu se développer une riche expérience de terrain et des progrès considérables dans la maîtrise et l'exploitation des eaux souterraines. Citons pour commencer l'apport des frères mécaniciens Banû Mûsâ qui ont vécu à Bagdad au moment de l'apogée de la civilisation abbasside (IX^e siècle). A côté de leur œuvre mathématique, ces savants nous ont laissé un ouvrage de mécanique, intitulé *Kitâb*

al-Hiyal (livre de la science de l'ingenium). Ce livre contient la description d'une centaine de modèles, d'engins et d'automates, dont un grand nombre furent des inventions personnelles.

On doit aux orientalistes allemands E. Wiedmann et F. Hauser d'avoir sorti de l'oubli ce manuscrit et contribué à l'étude de son contenu. Mais l'apport le plus important est dû au technologue et historien Donald Hill qui a traduit en anglais le traité des frères Banû Mûsâ. Cette traduction, qui date de 1979, comporte, en plus du texte original, des notes explicatives, des dessins actualisés et une analyse des principes qui ont présidé à leur conception. A ce travail de fond, s'est ajoutée l'édition arabe critique du manuscrit, effectuée par Ahmed Yahya Al-Hassan en 1981.

L'œuvre des premiers mécaniciens de Bagdad fut suivie par l'apport exceptionnel d'al-Jazarî qui a dominé par son génie tout le XII^e siècle. Donald Hill voit dans son « Compendium de la théorie et de la pratique au service des arts mécaniques » (*al-jâmi' bayna al-'ilm wa-l 'amal al-nâfi ' fî sinâ 'at al-hiyal*), écrit en 1206, le plus grand monument des techniques arabes.

Al-Jazarî nous offre l'exemple de l'ingénieur qui a consacré l'essentiel de sa carrière au service de l'Etat. La première nouveauté introduite par son livre fut la rupture avec l'esprit grec, caractérisé par la domination d'une mentalité anti- mécanicienne, peu intéressée par les retombées pratiques des inventions technologiques. Le but de notre ingénieur est clair : il s'agit d'améliorer le rendement des machines hydrauliques. La seconde innovation est à situer par rapport à l'héritage du machinisme hydraulique arabe, aussi bien celui hérité des Babyloniens que celui développé par les mécaniciens tardifs. Elle a permis la réalisation d'un saut qualitatif très important qui ne fut pas apprécié à sa juste valeur par les historiens des techniques.

En se limitant à la technologie des balanciers, on peut relever que ni les mécaniciens grecs, ni ceux de Byzance et d'Ispahan, n'ont atteint un degré de perfectionnement semblable à celui réalisé par al-Jazarî. Ce dernier a réussi la mécanisation des puits à balancier et la standardisation de leur appareillage élévatoire. Personne avant lui n'avait imaginé l'application de l'énergie animale à un système qui fut pendant des siècles le domaine exclusif de l'exploitation de l'énergie humaine, plus particulièrement celle des esclaves. Le tournant est là, dans cette économie de la main-d'œuvre et cette intelligence des machines mise au service de la libération du travail.

Une autre révélation du traité d'al-Jazarî mérite d'être connue : il s'agit de la mise au point d'une pompe foulante et aspirante. Cette invention inaugure une nouvelle ère technologique dans la civilisation arabo- musulmane. Avec le recul, les écrits d'al-Jazarî apparaissent

comme les derniers développements du premier cycle d'évolution de l'hydraulique arabe, celui qui fut initié par les frères Banû Mûsâ et se termina vers la fin du XII^e siècle. Durant cette phase, les œuvres les plus importantes du génie mécanique de l'Islam furent exécutées et décrites.

Les siècles d'empirisme qui ont suivi ne permettaient pas d'envisager de nouveaux développements dans le domaine de l'hydraulique théorique. En fait, le renouvellement ne viendra plus des régions qui furent les foyers classiques de l'ingénierie de l'eau (Irak, Iran, Syrie, Ifriqiya, al-Andalus, Maghreb...). C'est vers Constantinople, la nouvelle capitale de l'Empire ottoman, qu'il faut se tourner pour étudier les figures de la renaissance de l'hydraulique arabo-musulmane.

L'homme qui incarna cette renaissance au XVI^e siècle fut Taqî al-Dîn (1525-1585) qui était directeur de l'observatoire astronomique d'Istanbul et mécanicien au service des sultans ottomans.

Le *Traité mécanique* de Taqî al-Dîn, appelé *kitâb al-turuq al-saniyya fî al-'âlât al-rûhaniyya*, « Livre des méthodes accomplies au sujet des machines de l'esprit », se distingue par l'invention de quatre prototypes de pompes à eau. Chaque modèle comporte une note succincte qui l'identifie, une description de ses composants, des informations détaillées sur son mode de fonctionnement et un dessin qui le représente. Il s'agit de la pompe aspirante et foulante à deux cylindres opposés, de la pompe hélicoïdale, de la pompe à corde et balles en tissu et de la pompe foulante et aspirante à six cylindres monobloc.

Taqî al-Dîn peut être considéré à juste titre comme le plus grand inventeur de pompes à eau de toute l'histoire technologique de la civilisation de l'Islam (IX^e au XIX^e siècle). Son œuvre mécanique est d'autant plus importante qu'elle s'inscrit dans un environnement international marqué par les débuts de la Renaissance en Europe. Une Renaissance qui a fait du machinisme un de ses domaines de prédilection.

Malgré la difficulté de la tâche qui consiste à évaluer et à apprécier les héritages de la civilisation arabe, il est possible — dans les limites de nos connaissances actuelles — de dégager un certain nombre d'éléments qui indiquent une mutation dans l'approche de la théorie et de la pratique des phénomènes hydrauliques.

Cette mutation se caractérise à la fois par un changement de mentalité à l'égard du progrès technique et de ses applications, et par l'accumulation de nouvelles connaissances dans le domaine de l'hydraulique. Des connaissances qui gagneront à être comparées aux tendances de l'évolution technologique de l'époque médiévale et du début de la Renaissance en Europe. Il faudra aussi analyser les raisons

qui expliquent le déclin de ce savoir et discuter des moyens qui peuvent le sauvegarder en partie pour qu'il continue à témoigner du génie d'une civilisation qui a fait du domaine de l'hydraulique un de ses terrains privilégiés de recherche et de création.

Les apports de l'Ecole arabe de l'eau

L'Ecole arabe de l'eau a accumulé depuis sa fondation au ix^e siècle non seulement des œuvres, mais aussi des ouvrages qui témoignent du haut niveau atteint par la civilisation arabomusulmane dans la connaissance, la compréhension et la maîtrise des phénomènes hydrauliques. Comment évaluer tant de traités écrits, de réseaux construits, de savoir-faire produits et de monuments érigés à la mémoire de l'eau ?

Partant du contenu des textes disponibles, on peut dégager quelques exemples qui montrent la contribution des mécaniciens arabes au progrès du machinisme hydraulique en Méditerranée.

Prenons pour commencer l'exemple de l'évolution de la technique des balanciers à contrepoids appelés dans la terminologie arabe classique *Dâliya* (ou plus généralement *Shaduf*). Ce qui est remarquable dans cette technique, c'est l'usage de l'énergie humaine comme élément moteur. Al-Jazarî a réussi pour la première fois à mécaniser le système des balanciers et à le perfectionner en se basant sur l'emploi des engrenages tronqués et du système bielle-manivelle. Grâce à ces dispositifs ingénieux, il est devenu possible d'améliorer les rendements de cette machine et d'augmenter son efficacité.

Le second domaine privilégié par les mécaniciens arabes a été celui de la construction et de l'usage des pompes à eau. Le programme de recherche initié par al-Jazarî au xii^e siècle ne fut achevé qu'au xvi^e siècle, après la publication de l'œuvre de Taqî al-Dîn, qui représente l'apogée et l'aboutissement de la réflexion sur ce sujet.

L'invention de la pompe foulante et aspirante constitue la grande nouveauté de la fin du xii^e siècle arabe. Constituée par deux pompes monocylindriques à piston, la machine d'al-Jazarî se distingue par l'application du système bielle-manivelle, l'usage d'éléments mécaniques qui vont enrichir la culture technique arabe (cylindres, pistons, soupapes, valves, joints d'étanchéité, engrenages, disques, tuyaux d'aspiration...) et l'emploi de la force du courant comme énergie motrice. Quelques siècles plus tard, Taqî al-Dîn présentera une version améliorée de ce modèle de pompe. Le stock des connaissances mécaniques arabes se trouve également augmenté par l'invention d'une pompe de six cylindres monobloc, actionnée par

l'énergie hydraulique. En plus des éléments connus, la machine utilisera des combinaisons mécaniques plus sophistiquées (cames, masses en plomb pour actionner les pistons).

A la même époque, deux inventions capitales ont eu lieu, contribuant à enrichir le patrimoine technologique méditerranéen : il s'agit de la pompe hélicoïdale et de la pompe à chapelet. Ce qui distingue ces machines, c'est l'originalité de leurs composants mécaniques et l'usage généralisé de l'énergie hydraulique comme force motrice.

L'examen de la production mécanique arabe permet de relever un autre trait caractéristique exprimé par la profusion des dessins et des illustrations. Depuis les automates des frères Banu Mûsâ jusqu'aux machines d'al-Jazarî et de Taqî al-Dîn, on se trouve devant une collection impressionnante de modèles exécutés en couleurs naturelles. Bien qu'occupant un espace relativement réduit, la représentation des machines hydrauliques offre suffisamment d'intérêt pour nous inciter à la comprendre et à l'analyser en tant que véhicule de l'information technologique.

Sans entrer dans l'inventaire des ouvrages et des monuments construits à la gloire de l'eau, il nous semble que les apports cités suffisent pour établir le « moment islamique » (Maurice Lombard) dans l'évolution de l'hydraulique de la Méditerranée. Un moment qui a duré du ix^e au xvi^e siècle, permettant à la civilisation de l'Islam de mettre son potentiel scientifique et technique, l'imaginaire de ses mécaniciens et le talent de ses artistes, au service du développement de l'ingénierie de l'eau.

Cependant, la question qui se pose après un tel bilan, c'est de savoir s'il y a eu un rapport entre l'héritage de l'Ecole arabe de l'eau et l'évolution de l'hydraulique en Europe qui se confondait à l'époque avec le Monde de la Chrétienté ?

G. Sarton a tenté, dès les années 50, une approche statistique du phénomène de la transmission des sciences arabes au monde occidental. L'inventaire, bien qu'approximatif, a montré l'importance de l'héritage transmis et la diversité des champs couverts, allant des sciences exactes aux connaissances médicales et philosophiques.

L'héritage mécanique arabe a contribué par différentes voies au développement du machinisme hydraulique dans une région qui préparait les conditions préalables au démarrage de sa Renaissance. Depuis les carnets des premiers mécaniciens italiens jusqu'aux théâtres de machines du xvi^e siècle, on peut découvrir les emprunts à l'école hydraulique arabe qui avait une expérience millénaire dans ce domaine. Le fait même que certains dessins de machines hydrauliques

ne comportent pas d'indications écrites, ou sont assez frustes et peu explicites, laisse supposer leur origine étrangère.

Le cas de Mariano Taccola (1382-1455) est révélateur de toute une époque marquée par l'ambivalence des processus transitionnels. Ce mécanicien italien, qui est fier de porter le surnom d'Archimède de Sienne, clame haut et fort sa haine de l'Islam et des musulmans, considérés comme des peuples « infidèles et barbares ». Le lecteur d'aujourd'hui est frappé par le souffle intolérant qui anime son traité des machines, voué entièrement à la lutte contre les Ottomans. Cependant, malgré son caractère belliqueux, l'œuvre de Taccola n'hésite pas à intégrer dans sa partie hydraulique, les influences venant des provinces de l'Asie musulmane. Grâce à des informateurs italiens et espagnols (Bartolomeo Pasquini, Bernardo de Agamanente de Majorque, Antonius Catalanus...), le machinisme arabe a réussi à renaître dans les carnets d'un mécanicien apparemment fermé à la culture islamique. L'ingénieur italien trouvait différentes excuses pour dissimuler son ignorance du domaine nouveau de la technologie des roues hydrauliques. Tantôt, il nous dit que l'observation des dessins peut suffire ; tantôt, il affirme que les mécanismes des machines s'expliquent d'eux-mêmes et qu'on n'a pas besoin de les décrire par des textes écrits. En se limitant à l'exemple du système des balanciers, on voit combien l'ingénierie italienne du Quattrocento était encore aux prises avec des problèmes que les ingénieurs musulmans (Al-Jazarî, l'anonyme de Tolède...) avaient résolus deux siècles auparavant. Taccola fut aussi consulté par les Espagnols pour résoudre le problème de l'approvisionnement en eau de Tolède. Mais la solution envisagée à partir de l'héritage hellénistique ne fut pas à la hauteur de la réputation de l'« Archimède de Sienne » qui avait imaginé dans ses carnets une vis élévatoire dressée verticalement et impraticable.

La technologie hydraulique de l'Europe du xvi^e siècle reste, dans ses grandes lignes, comparable à celle de l'Empire ottoman. La partie mécanique du traité de Juanelo Turriano reproduit des dessins de noria, de pompe à chapelet, de pompe à double cylindre et de pompe hélicoïdale qui ont une grande ressemblance avec les machines d'al-Jazarî et de Taqî al-Dîn. Bien qu'il n'y ait pas de preuve de rapports directs entre ces mécaniciens, tout semble indiquer qu'il s'agit d'un niveau technologique comparable. La seule différence est représentée par la possibilité d'utiliser trois batteries de vis d'Archimède pour élever l'eau à une hauteur plus importante. Mais l'invention d'une pompe foulante et aspirante à six cylindres monobloc, actionnée par l'énergie hydraulique, constitue encore au xvi^e siècle, une avancée technologique réelle des mécaniciens arabes.

L'ouvrage d'Agostino Ramelli (composé en 1588) constitue — indépendamment de la portée pratique de ses copies et inventions — un progrès notable dans le domaine de la représentation et du dessin des machines hydrauliques. On sent par la sûreté des traits et la clarté des modèles reproduits avec leurs pièces détachées et leurs matériaux implacables, l'effet de la Renaissance artistique et mécanique européenne. Malgré ces développements nouveaux, la comparaison garde son intérêt avec les œuvres de Taqî al-Dîn et d'al-Jazarî. Les exemples de la pompe à chapelet et des balanciers sont assez significatifs. Dans le premier cas, Ramelli se contente d'une description sommaire de la chaîne composée de pièces en bois. Et dans le second, il nous met devant la scène laborieuse de l'évacuation de l'eau d'un port à l'aide de quatre balanciers actionnés chacun par deux hommes. La nature des écopés utilisés, l'énergie humaine demandée, les déperditions d'eau occasionnées, tous ces aspects témoignent de la supériorité de la batterie des écopés mécanisés d'al-Jazarî, aussi bien au niveau du rendement que de l'efficacité. Il faudra attendre l'invention de l'écope à vapeur par Fairbairn au XIX^e siècle pour parler de vrai dépassement de la technologie arabe des balanciers.

La difficulté d'éclairer l'origine de l'école italienne a fait croire à Bertrand Gille qu'il pourrait s'agir « d'une sorte de génération spontanée ». On sait aujourd'hui qu'il n'y a pas eu d'accouchement miraculeux dans le domaine du machinisme hydraulique et que les valeurs d'emprunts aux civilisations antérieures l'emportent sur les nouveautés. La comparaison peut être édifiante sur ce plan entre le monde arabo-musulman qui est resté, jusqu'au XVI^e siècle, à un niveau comparable à celui de l'Europe, et la Chine qui attendra le siècle suivant pour hériter des théâtres de machines conçus en Occident.

Comment expliquer alors le déclin de la civilisation arabe ? Il y a les thèses classiques qui évoquent les Croisades, les invasions mongoles, la perte du contrôle de la mer Méditerranée, la chute de Grenade, l'ascension de nouvelles puissances maritimes et le conservatisme religieux. Il faudra ajouter à ces causes l'ostracisme technologique des Européens qui commence à apparaître entre la fin du Moyen Age et le début de la Renaissance. Les bulles des papes ont constitué, à travers l'histoire des rapports entre la Chrétienté et l'Islam, un des instruments de cet ostracisme qui a touché tous les domaines pouvant renforcer la capacité technologique des musulmans (armement, commerce, ouvrages et manuscrits scientifiques et techniques...).

Les Arabes sont restés en dehors des bouleversements des XVII^e et XVIII^e siècles, qui ont ouvert le champ de l'hydrodynamique et permis l'avènement de la science hydraulique moderne. Les noms attachés à cette révolution, ceux de Torricelli (1608-1647), de Mariotte (1620-

1684), de Bernoulli et d'autres savants, n'ont pas trouvé leur chemin à la culture scientifique et technique de l'Islam. Quand le premier traité d'hydraulique moderne a été traduit en arabe au XIX^e siècle, la coupure avec l'héritage de l'école hydraulique arabe a été bel et bien consommée. Plus personne ne s'intéressait aux conquêtes de cette école, qui furent oubliées.

Conclusion

La publication de notre livre sur les Maîtres de l'eau dans la civilisation de l'Islam a non seulement permis de mettre à la disposition des hydrauliciens de la Méditerranée l'héritage d'une école oubliée, mais aussi d'attirer l'attention de l'UNESCO sur la nécessaire sauvegarde de cet héritage qui représente un patrimoine en péril. Les menaces viennent à la fois de la politique des grands barrages, de l'urbanisation, de l'analphabétisme, de la pauvreté et du comportement des élites au pouvoir. Si le rythme des destructions actuelles se poursuit, tout le potentiel de la technologie des *Qanat* et des machines hydrauliques anciennes aura disparu d'ici l'horizon 2020. Le génie répartiteur de l'eau, les institutions locales d'arbitrage des conflits, le savoir-gérer lié à la gestion sociale de l'eau, toutes ces traditions séculaires auront encore moins de chances de durer. D'où la nécessité d'un programme urgent pour classer ce patrimoine hydraulique au titre des biens matériels et immatériels de l'humanité et rechercher les voies de sa valorisation économique dans la perspective d'un développement touristique et culturel durable.

Mohammed EL FAÏZ

Professeur à l'Université Cadi Ayyad de Marrakech
Historien de l'agronomie et des jardins arabes