

L'histoire des barrages

Contenu

Introduction.....	1
En Egypte : des réalisations pharaoniques.....	2
En Orient l'hydraulique : clé du développement dès l'age du bronze	3
Les constructions romaines.....	7
L'Extrême-Orient : la Chine et le Japon	10
Le monde indien et du Sri Lanka	11
Le Moyen Orient après l'époque romaine	13
L'Europe du Moyen Age jusqu'aux temps modernes.....	15
Les Amériques	20
La Révolution industrielle et l'époque contemporaine.....	22
Un peu d'histoire des barrages français.....	26
REFERENCES	29

Introduction

Il ne s'agit pas en quelques pages de faire le tour de l'histoire des barrages, mais de découvrir à travers l'histoire de l'humanité, pourquoi et comment l'homme a toujours cherché à retenir l'eau, la dériver, ou s'en protéger pour son plus grand bénéfice. Cette activité a commencé quasi simultanément dans toutes les civilisations, à des périodes très reculées, dans des zones très éloignées les unes des autres, sans qu'aucune communication puisse faire penser à un quelconque transfert technologique. Certaines réalisations ont donc pu être oubliées, ou mentionnées sans développement. Un éclairage particulier a été donné à ce qui s'est passé en France, dont le territoire est plus familier à beaucoup de ceux qui consulteront ce site.

En Egypte : des réalisations pharaoniques

Aux environs de 2900 av JC, le Pharaon MENES, fondateur de la première dynastie Egyptienne aurait dérivé le Nil à Koseish, pour construire sa capitale Memphis derrière des remparts qui la mettaient à l'abri des crues du Nil. Cet ouvrage en pierres de taille pouvait avoir 15m de hauteur et 450m de longueur en crête. L'homme avait fait confiance, peut-être pour la première fois, pour résister à la pression de l'eau, à une structure gravitaire. Près de 5000 ans seront nécessaires avant que de telles structures soient conçues et dimensionnées sur la base d'une connaissance aussi rigoureuse que possible du comportement des matériaux utilisés.

Pareillement le barrage de SADD EL KAFARA, construit sur l'oued Garawi, à 30 km au sud du Caire sous les 3^{ème} et 4^{ème} dynasties (2 650-2 645 av JC) consistait en 2 murs de maçonnerie de moellons de 24 m d'épaisseur à la base, enserrant un noyau de terre de 36 m d'épaisseur (figure 1). L'ouvrage de 12 m de hauteur et de 108 m de longueur, fut très rapidement ruiné par submersion, car il ne possédait pas d'évacuateur de crues. Cette erreur s'est malheureusement répétée de nombreuses fois jusqu'à nos jours. Il n'a pas toujours été compris qu'un exutoire était nécessaire à la rivière et lorsque cet exutoire était prévu, son dimensionnement a été souvent insuffisant par manque de connaissances appropriées. Cette première rupture historique connue de barrage a-t-elle détournée les ingénieurs égyptiens d'une semblable entreprise ? Le fait est que le seul autre barrage construit sous le règne de SETHI 1ER (1 319 -1 304 av JC) sur le Nahr El Asi près de HOMS en Syrie, est du type en enrochement. Il a 6 m de hauteur et 2000 m de long et il est encore en service aujourd'hui.

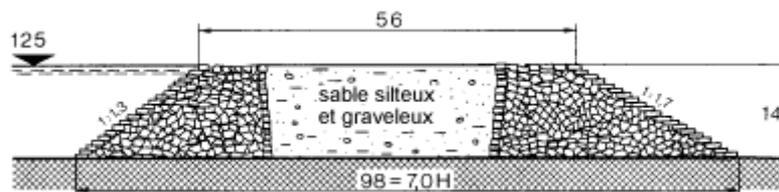


Figure 1 : Barrage de SADD-EL-KAFARA (-2650 av JC) d'après SCHNITTER

On ne citera que pour mémoire, l'énorme et énigmatique barrage de MOERIS construit aux environs de 300 av JC dans une dépression naturelle du Fayoum à 80 km au sud du Caire. Cet ouvrage faisait le tour de la dépression. L'alimentation du réservoir ainsi créé et sa vidange étaient réglées seulement au moyen de barrages temporaires, alternativement construits et démolis.

En Orient l'hydraulique : clé du développement dès l'âge du bronze

Bien que la construction des barrages semble avoir été développée à une époque relativement plus récente qu'en Egypte dans la vallée du Tigre et de l'Euphrate, la mise en valeur de ces dernières fut rendue possible par la maîtrise de nombreux aménagements hydrauliques à partir du 3^{ème} millénaire avant notre ère. Le raffinement des civilisations de cette région s'est appuyé sur le développement et la pérennité de l'alimentation en eau. Une première étape a consisté à retenir l'eau dans les réceptacles aménagés, mouilles en fond de rivières ou citernes. Mais l'étape décisive a consisté à barrer le flot, détourner l'eau et irriguer les cultures. Enfin la dernière étape a été de comprendre l'intérêt de disposer d'une réserve d'eau importante en saison sèche pour développer de nouveaux usages : forces motrices à l'avènement de la roue hydraulique, navigation, recharge de nappes (figure 2).

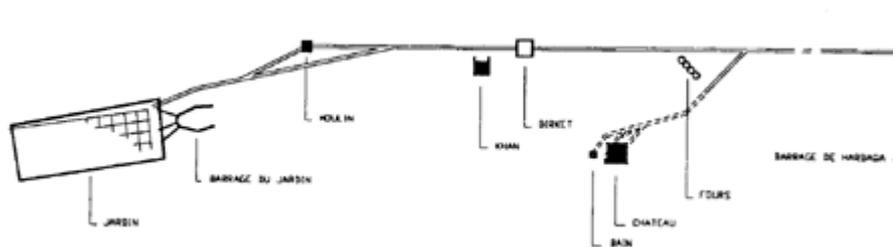


Figure 2 : utilisation de l'eau à l'aval du barrage de HARBAQA (Syrie), I siècle après J-C Extrait de Calvet et Geyer

Ainsi de l'âge du bronze à l'époque romaine, on note sur trois millénaires de nombreuses périodes d'expansion de sociétés hydroagricoles.

En Irak, vers 2 100 av JC, lors de la 3^{ème} dynastie d'Ur, quelques tablettes mentionnent des équipes de femmes employées à la construction de barrages de roseaux. Cet emploi de roseaux est aussi mentionné au sujet de barrages que MARDUK, roi de Babylone, probablement le NEMROD biblique, fit construire sur le Tigre, en amont de Samarra, en vue de détourner la rivière vers un nouveau lit. Cet ouvrage aurait été ruiné vers 1 200 av JC. Cependant aucune trace n'est visible actuellement, ce qui n'est pas surprenant si l'ouvrage avait été construit en terre et roseaux.

Sous le règne d'HAMMOURABI, vers 1 800 av JC, d'autres barrages ont été réalisés dont il ne reste rien. Mais le fameux code d'HAMMOURABI reflète la grande importance des barrages pour la société babylonienne.

Mille ans plus tard, Babylone fut détruite par le roi assyrien SENNACHERIB (705 -681 av JC). On rapporte que lors du sac de la cité, un barrage situé à l'amont a été détruit et que le flot a complété la destruction de la ville. Ce serait la première fois et non la dernière qu'un barrage est l'objet d'un acte de guerre.

L'existence de la plupart de ces ouvrages est simplement attestée par des écrits qui nous sont parvenus. Les premiers barrages historiquement prouvés et encore accessibles apparaissent être ceux construits en Syrie, Irak et Iran.

Le barrage de KHANOUQA, en Syrie, permettait d'irriguer la région de Deir-Ez-Zor dans la vallée de l'Euphrate par un canal attribué à la reine légendaire SEMIRAMIS (figure 3). Le barrage de RAS SHAMRA, construit au 13^{ème} siècle avant JC assurait un rôle de réservoir et de rechargement de nappes pour alimenter les très nombreux puits de la ville voisine. Il était construit en pierres

taillées de masse imposante (1,7 t) liées entre elles par des tenons en bois en queue d'aronde (figure 4).

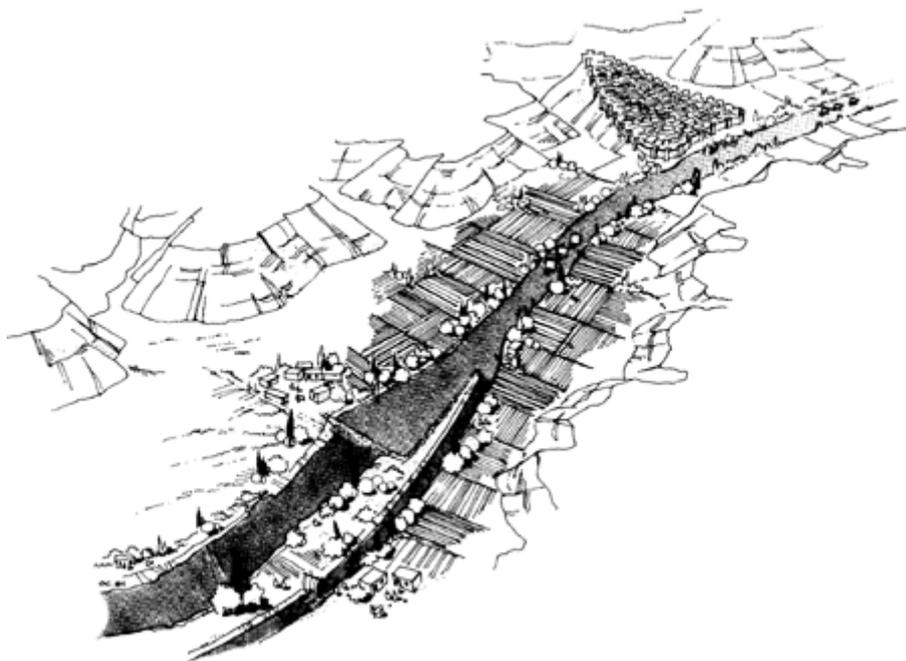


Figure 3 : Restitution du barrage de KHANOUQA (Syrie), -1300 av JC D'après Calvet et Geyer

Vers 694 av JC sous SENNACHERIB, des barrages assuraient la fourniture d'eau à sa capitale Ninive, au nord-est de Mossoul. A Alijah, sur la rivière Khosr il y avait 2 barrages en série. Le premier très petit, de 1,50 m de hauteur et 2,50 de largeur à la base, était curieusement construit en forme d'équerre, l'une des branches de 25 m de longueur en travers de la rivière, l'autre de 75 m de long en parallèle au cours d'eau. Le deuxième situé à 350 m en aval avait 240 m de longueur et au moins 3 m de hauteur.

La rivière Khosr était barrée aussi plus loin en amont près de Qayin, tandis que le barrage de BAVIAN, construit vers 690 av JC sur la rivière Gomel, permettait la dérivation des eaux de cette dernière vers la rivière Khosr.

A l'époque néo-babylonienne, le roi NABUCHODONOSOR II (605-562 av JC) construisit un barrage pour l'irrigation à ABBU HABBA au sud de Bagdad tandis que le roi Perse DARIUS 1^{ER} aurait construit 3 barrages-poids près de son palais de Persepolis en Iran.

La tradition de la construction de barrages se continuera à travers les dynasties perses successives jusqu'aux SASSANIDES, parmi lesquels le roi SHAPUR 1^{ER} (239-272). Celui-ci captura l'empereur romain VALERIEN et son armée forte de 70 000 hommes à la bataille d'Edesse en 260. Il employa cette main d'œuvre peu coûteuse et contenant des éléments qualifiés à l'amélioration du système d'irrigation du Khuzestan (Iran).

Parmi d'autres structures, les ingénieurs romains auraient construit le remarquable pont barrage de BAND-I-MIZAN, sur la rivière Karun, près de Shustar. La construction de cet ouvrage, long de 550 m, aurait duré entre 3 et 7 ans. Réalisé en maçonnerie de moellons avec des parements revêtus de blocs jointoyés au mortier de chaux et fixés par des goujons de fer, il a résisté jusqu'à nos jours.

Dans les siècles suivants, les systèmes d'irrigation furent progressivement négligés en Irak et dans les régions voisines. Le délabrement des ouvrages s'ensuivit et s'accéléra lors de l'invasion des Arabes au 7^{ème} siècle pour se terminer par la destruction de beaucoup d'installations lors des invasions mongoles du 13^{ème} siècle.

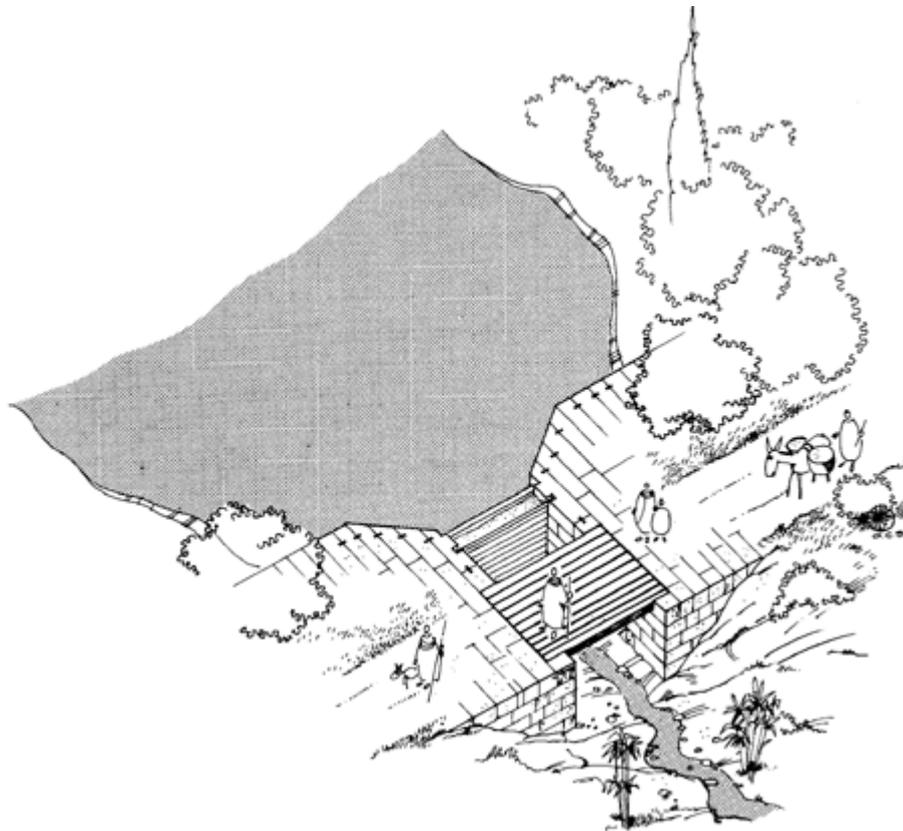


Figure 4 : Restitution du barrage de RAS SHAMRA (Syrie), -1300 av JC
D'après Calvet et Geyer

Dans l'intervalle, les centres de civilisation s'étaient éloignés à la fois vers l'Extrême Orient et vers la Méditerranée. Dans cette dernière direction il y eut successivement deux civilisations qui furent florissantes le long de la route des épices en Arabie occidentale.

La première est le légendaire royaume de Saba dont les fastes de leur reine sont célèbres dans la Bible à l'époque de SALOMON. Dans ce royaume des barrages existaient à EDRAA, ADHMA et près de Marib, la capitale. Non loin de cette ville existait l'ouvrage de loin le plus important, le barrage de SUDD AL ARIM sur l'oued de Dhana, construit vers 750 av JC. Il consistait en un remblai de terre d'environ 4 m de hauteur et de 600m de longueur. Il n'était pas construit à l'endroit le plus étroit de la rivière, pour éviter la submersion par les crues et possédait sur chaque rive de grands ouvrages de vidange en excellente maçonnerie. Vers 500 av JC, ce barrage a été surélevé à 7 m et une nouvelle fois à 14 m en l'an 325 de notre ère. Les surélévations successives étaient probablement dues à l'alluvionnement du réservoir qui diminuait la capacité disponible, ainsi qu'à l'accroissement des besoins en eau au rythme de l'accroissement des populations. Les profils successifs de l'ouvrage étaient des triangles, les parements amont et aval étant inclinés à 45°. Le parement amont était revêtu de maçonnerie jointoyée au mortier. Ainsi pendant plus de mille ans cet ouvrage fut la base de l'agriculture et des moyens d'existence dans la plaine de Marib située à l'Est. Après une première rupture au 5^{ème} siècle, le barrage a été probablement détruit vers 575. Cet événement est relaté dans le Coran (Sourate 34, Versets 14 et suivant) dans les termes ci-après :

« Les habitants de Saba possédaient 2 jardins que traversait un ruisseau. Nous leur dîmes : Jouissez des bienfaits du ciel. Ce vallon est délicieux. Soyez reconnaissants ».

« Ils abandonnèrent le culte du Seigneur. Nous déchaînâmes contre eux les eaux entassées d'un torrent. Leurs jardins submergés et détruits ne produisirent plus que des fruits amers, des tamaris et des naves ».

De plus courte durée, mais non moins impressionnante en raison des conditions naturelles défavorables, fut la civilisation que les Nabatéens maintinrent durant 2 siècles, au début de notre ère, dans le désert de Négev des deux côtés de l'actuelle frontière Israëlo-Jordanienne. Constructeurs infatigables, pour subsister avec des précipitations moyennes annuelles d'à peine 150mm, tombant d'ailleurs en quelques grosses averses, les Nabatéens auraient établi plus de 17 000 petits barrages sur une zone de 125 km². Ces ouvrages servaient à la fois à la rétention de l'eau et des alluvions, qui permettaient la création de zones de terrains fertiles.

Les matériaux de base étaient la terre, le bois et la pierre. Le plus important des barrages Nabatéens était un barrage en enrochement de 14m de haut, sur le Siq, près de leur capitale la Cité rose de Pétra (Jordanie), et divers barrages-poids construits sur l'oued Kurnub, à 40 km au Sud de Beersheba (Israël). Deux de ces derniers ont été maintenus en bon état jusqu'à présent. Mais il s'agit d'une exception, de sorte que beaucoup de champs retournèrent au désert, duquel l'Israël moderne les a tirés une seconde fois.

On dit aussi que le premier barrage-poids incurvé aurait été construit par les Nabatéens sur l'oued Ovdad. Mais il semble que cette forme ait été due aux conditions de fondation et non au désir d'utiliser la résistance de la voûte.

Les constructions romaines

Parmi les vestiges des civilisations méditerranéennes, il reste peu de choses en matière de barrages ou de travaux hydrauliques en Grèce, Est-ce par manque de besoins, ou en raison du morcellement politique empêchant de telles entreprises ou par cause de destruction ? Pourtant l'époque mycénienne avait été fertile en réalisations. Construit en 1260 av JC, le barrage de dérivation de KOFINI de 10 mètres de hauteur est toujours en service. Plusieurs autres réalisations mériteraient d'être citées.

Curieusement peu de barrages romains sont connus en Italie. Malgré leur préoccupation très ancienne d'alimenter en eau leurs villes sur une grande échelle, les romains semblent avoir entrepris la construction de barrages surtout dans les provinces où ils s'étaient installés. Les trois barrages connus en Italie, sont groupés près de SUBIACO à 25 km à l'Est de Rome. Ils auraient été construits par NERON. Leur histoire est peu connue, le dernier d'entre eux aurait péri en 1305.

A KASSERINE, à 200 km au Sud de Tunis, les Romains auraient construit un barrage courbe destiné à alimenter en eau la ville de Cillium. Sa hauteur totale était de 10 m, son épaisseur en crête de 4,9 m, à la base de 7,3 m. Sa longueur était de 150 m. Il était déversant.

Près de Leptis magna, de nombreux barrages ont été construits par les Romains dans le triple but de contrôler les crues, de créer des réserves d'eau et de conserver les sols.

En Syrie, vers 132, près de Al-HARBAKA, à 70 km au Sud-Est de Palmyre, un barrage de 18 m de hauteur, de 200 m de longueur a été construit par les Romains pour créer un réservoir, destiné à la fourniture de l'eau et à l'irrigation. Il est encore pratiquement intact, bien que le réservoir soit rempli d'alluvions.

Mais le plus impressionnant barrage romain, construit par l'empereur DIOCLETIEN en 284 est aussi situé près de HOMS, sur l'Oronte. Cet ouvrage a près de 2 km de long. Sa plus grande hauteur est de 6 m et son épaisseur à cet endroit est de 7 m en crête et 20 m à la base. Le barrage a tenu 1 700 ans et a été inclus dans un nouvel ouvrage terminé en 1934.

Le plus haut barrage romain encore en service, situé en Espagne du Sud-Ouest, au nord de Merida, est le barrage de CORNALBO, construit au 2^{ème} siècle (figure 5). Il a 24 m de hauteur au centre et 220 m de longueur, et stocke 10 millions de m³. Son profil transversal est trapézoïdal, la pente du parement aval étant de $V/H=1/3$. L'épaisseur maximale est de 60 m. C'est un ouvrage en terre de construction particulière. Trois murs longitudinaux et transversaux en maçonnerie constituent des sortes de boîtes qui ont été remplies de pierres et d'argile fermées par un écran de maçonnerie de pierre de taille posées sur un béton de chaux. L'ensemble a été recouvert de terre. La maçonnerie du parement amont joue le rôle d'étanchéité.

Dans la même région, le barrage PROSERPINA aurait été construit avant la fin du premier tiers du 2^{ème} siècle. C'est un ouvrage caractéristique des méthodes de conception et de construction romaines. Il est constitué par un mur amont épais en maçonnerie ayant un fruit amont de 6° environ et dont la face aval est verticale. Ce mur pénètre de 6m en fondation. Son épaisseur en crête, incertaine, serait de 3,75 m. Il est conforté en aval par un massif en terre plus ou moins pentu et s'étendant à 60 m vers l'aval, 9 contreforts espacés irrégulièrement soutiennent le mur. Il avait été réalisé pour l'alimentation en eau de Merida. Il est toujours en exploitation et sert à l'irrigation.

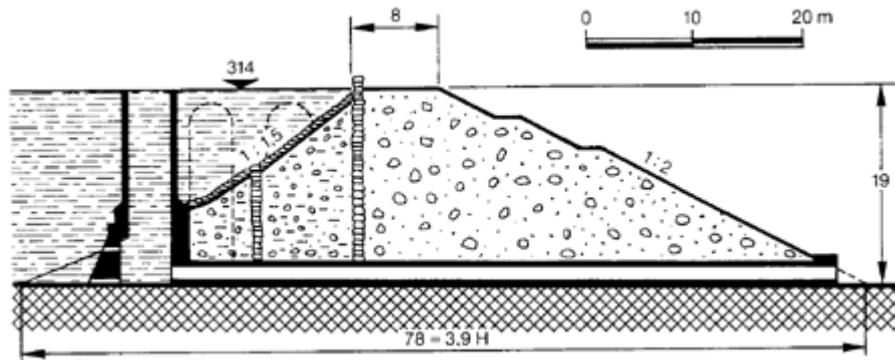


Figure 5 : Barrage de Cornalbo (II siècle) d'après SCHNITTER

Un autre ouvrage du même type avait été construit au 2^{ème} siècle à ALCANTARILLA près de Sonseca au Sud de Tolède dans le but de fournir de l'eau à cette ville. Il est aujourd'hui en ruines.

Un barrage construit sur le Rio Cubillas près de Grenade, ainsi que le barrage d'ESPARRAGALEJO, sont les premiers du type à contreforts.

Enfin, les aménagements hydrauliques réalisés par les Romains dans l'organisation défensive des confins du Sud tunisien et algérien, zone du Fossatum Africae avec des barrages d'épandage de crues, sont remarquables.

En Turquie, les romains construisirent quelques ouvrages pour la protection contre les crues ou pour l'irrigation. On peut citer le barrage d'ORUKAYA à 190 km au Nord-Est d'Ankara qui avait 16 m de haut et 40 m de long, tandis que le barrage de CAVDARHISAR à 210 km au Sud d'Istanbul avait 7 m de haut et 80 m de long. Tous deux étaient constitués de deux murs verticaux en maçonnerie, dont les joints étaient partiellement étanchés avec du plomb. L'espace entre les 2 murs était rempli de terre. L'épaisseur totale atteignait seulement 5 à 6 m.

Plus tard, sur la frontière Syro-Turque, l'ingénieur CHRYSSES d'ALEXANDRIE, construisit un barrage pour la fourniture de l'eau et la protection contre les crues de la ville de Dara. Cet ouvrage n'a pas été construit : *« rectiligne mais en forme de croissant de façon que sa voûte, qui s'oppose au courant, puisse être mieux à même de résister à sa violence »*.

Un autre barrage voûte de 12 m de hauteur et 18 m de longueur et d'une ouverture de 73° fut construit en France près de Saint-Rémy en Provence au vallon de BAUME (figure 6). Il était constitué de 2 murs de pierre de 1,30 m d'épaisseur encadrant un remplissage de terre de 1,60 m d'épaisseur.

Sous l'Empereur romain d'Orient JUSTINIEN 1ER (527-565) plusieurs barrages furent construits pour l'alimentation en eau de Constantinople. Ils étaient établis sur deux petites rivières, la Kiathene Deresi et la Ali Bey Deresi.

Le plus grand des barrages qui formait le " BUYUK BENT " ou " grand réservoir " était établi sur un affluent de la Kiathene Deresi à 15 km de Constantinople. C'était un barrage-poids de 75 m de long, 12 m de haut et 10 m d'épaisseur à la base. Deux déversoirs, à angle droit, aux extrémités de l'ouvrage permettaient l'évacuation des crues.

A 3 km à l'amont du " BUYUK BENT ", un second réservoir appelé TOPUZ BENDI, était créé par un barrage de 50 m de long et 7 m de haut. C'était un barrage-poids en maçonnerie renforcé par des contreforts à l'aval.

Un troisième réservoir appelé " AIVAT BENDI " était créé par un barrage, sur la AIVAT DERESI affluent de la Kiathene Deresi, de 62 m de long, du même type que les précédents mais sans raison apparente de forme polygonale en plan. Ses parements étaient revêtus de marbre.



Figure 6 : Barrage voûte construit en France par les romains dans le vallon de BAUME

L'Extrême-Orient : la Chine et le Japon

La Chine est un immense pays de civilisation multimillénaire où de grands travaux de Génie Civil ont été entrepris dès le début des temps historiques. Ceux-ci concernaient surtout des canaux et des digues pour l'irrigation et la navigation (figure 7).



Figure 7 : Carte de la Chine orientale reproduisant quelques grands travaux hydrauliques du 1er millénaire jusqu'au XVIème siècle (cité par Schnitter)

Quelques barrages peuvent être signalés, tel que le barrage en gabions de 30 m de haut et 300 m de long construit vers 240 av JC sur la rivière Gukow dans le Shansi, le désastreux essai en 514 de barrage du HOUANG-HO (Fleuve Jaune) près de Fu Shan Shia dans le Anhwei avec une structure similaire, la construction de la digue Ming de 100 km de long autour du lac Hungtsé au Kansou (16ème et 17ème siècle) et quelques autres travaux moins importants.

Le plus remarquable, parmi sept réservoirs construits dans le centre du pays à l'ouest et aux alentours de Shanghai, est le barrage d'AFENGTANG construit de 589 à 581 av JC sous la direction de Sun Shuao ministre auprès du roi TING (606-586 av JC). Ce barrage qui stocke 100 millions de mètres cubes pour l'irrigation est encore en exploitation.

Le Japon était très actif dans la construction des barrages depuis le début de son histoire. Le plus vieux des barrages de plus de 15m de hauteur, celui de KAERUMATAIKE, ouvrage en terre de 17 m de haut et 260 m de long, situé près de Nara, date de 162. Jusqu'à la fin de l'époque bouddhiste classique (522-1603) qui correspond au Moyen Age en Europe, de nombreux barrages ont été construits. Il en reste encore 30 de plus de 15 m en service, dont le barrage de DAIMONIKE, haut de 32 m construit en 1128 près de Nara également. Tous ces ouvrages sont en terre et constituent de petits réservoirs pour l'irrigation.

Le monde indien et du Sri Lanka

L'activité de construction des barrages n'était pas moins intense et remontait aussi loin dans l'empire insulaire de Ceylan (aujourd'hui Sri Lanka). Peu après leur immigration, au 5ème siècle avant J.C, les Cinghalais commencèrent le développement des montagnes de l'intérieur de l'île au moyen d'un système d'irrigation très vaste et bien étudié, qui donna la base à des civilisations florissantes jusqu'à leur destruction après 1 200 par de nouveaux envahisseurs.

Les très vieux réservoirs de BASAWAKKULAM (430 av JC) TISSA (307 av JC) et NUWARA (1^{er} siècle de notre ère) situés près de la ville d'Anuradhapura ont été restaurés vers la fin du 19ème siècle (figure 8). Les digues en terre de ces ouvrages sont de hauteur modeste mais de grande longueur. Celle-ci atteignait 18 km au barrage de PADAWIYA haut de 21 m, construit au 12^{ème} siècle à 60 km au Nord d'Anuradhapura. Cette longueur avait dépassé 6 km au 5ème siècle, au barrage de KALA (BALULA) dont la hauteur était de 24 m.

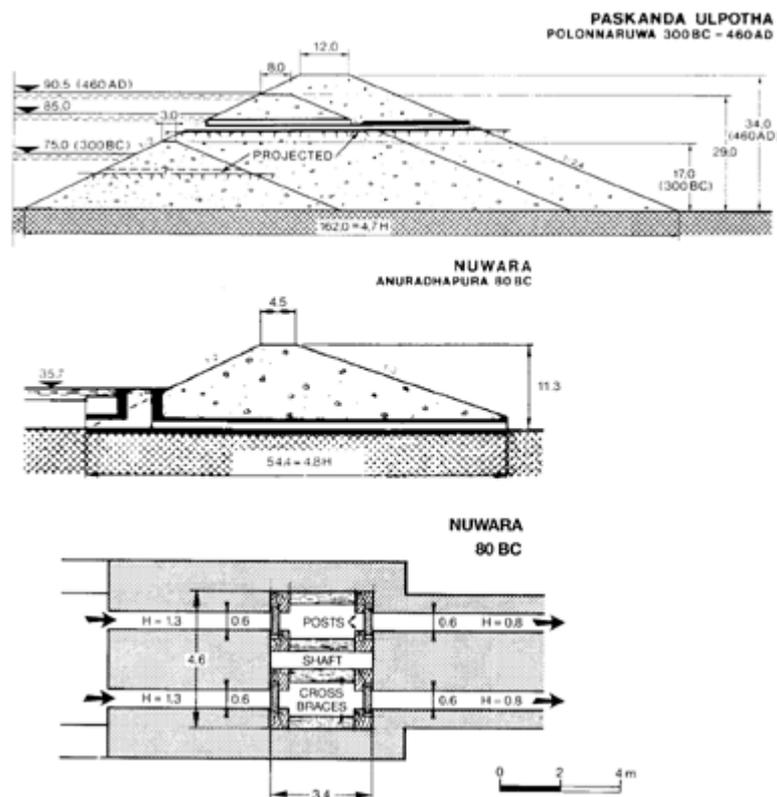


Figure 8 : Barrage de Nuwara au Sri Lanka, -80 av JC, d'après Parker et Bligh cité par Schnitter

Le plus grand nombre de barrages d'irrigation médiévaux, plusieurs dizaines de milliers, a été construit dans les états des Indes proches de Ceylan : Madras, Mysore et Andra Pradesh, bien que les techniques de construction des barrages paraissent avoir été originaires, à une date très primitive, des régions plus occidentales du sous-continent. Au Balouchistan (Pakistan), les ruines d'un barrage pré-aryen existent dans la vallée de Maskhai et près de la passe Lakorian. Ces ruines semblent provenir d'un barrage de 4 m de haut et 320 m de long. Après l'invasion aryenne, au milieu du second millénaire avant J.C., les anciennes pratiques d'irrigation étaient renouvelées comme par exemple au barrage de SUDARSANA près de Girnar dans le Kathiawar pendant le règne de CHANDRAGUPTA (-322 -298). L'apogée des techniques indiennes a ensuite été atteint au 11^{ème} siècle avec la constitution d'un réservoir de 650 km² au Nord Est de Bhopal (Mandya

Pradesh). Il était formé par la construction près de Bhojpur de 2 barrages en terre revêtus sur les deux côtés de maçonnerie de pierres taillées. La hauteur de ces barrages était au maximum de 27 m et leur longueur en crête de 92 m. Ils ont été démolis pour vidanger l'énorme réservoir. Le barrage de MOTI-TALAV, près de Mandya (Mysore) qui est antérieur aux barrages précédents d'environ 1 siècle est d'un modèle similaire et il est encore utilisé aujourd'hui. D'une hauteur de 24 m et d'une longueur en crête de 157 m, il a une largeur en crête très exagérée de 27 m et des pentes de 2/3 à l'amont et 1/1 à l'aval. Cela explique peut-être sa pérennité.

Un tel profil a été aussi utilisé au barrage en terre de VEERANAM au Sud de Cuddalore (Madras) qui a été construit de 1011 à 1037 et atteint une longueur de 16 km. En dernier temps, cependant, les profils des digues étaient voisins de ceux utilisés aujourd'hui. Généralement les pentes des parements étaient un peu plus raides que dans le Sud des Indes où un matériau graveleux était plus disponible que dans le centre du pays où un matériau argileux était utilisé.

L'ouvrage de plus grande hauteur, aux Indes, semble avoir atteint 33 m vers la fin du 15^{ème} siècle au barrage en terre de MUDDUCK MASUR dans l'état de Madras.

Le Moyen Orient après l'époque romaine

Comme on l'a dit précédemment, les ouvrages hydrauliques au Moyen Orient avaient beaucoup souffert d'un abandon progressif jusqu'au 13^{ème} siècle, où lors des invasions mongoles beaucoup d'entre eux furent ruinés. Mais après les invasions, la construction reprit. Sous le règne de AHMAD, fils de HULAGU et 3^{ème} Khan de Perse, le barrage de SAVEH a été construit (1281-1284). C'est un barrage-poids rectiligne de 46 m de long en crête, 18 m de hauteur, en maçonnerie de moellons. Cet ouvrage offre la particularité surprenante d'avoir duré près de 700 ans sans dommage ou détérioration. En effet, il était fondé sur 27 m d'alluvions et n'a pas pu être rempli suite aux fuites causées par l'érosion interne.

Le deuxième barrage de l'époque mongole est le barrage voûte de KEBAR à 25 km au Sud de la ville de Qoum, qui aurait été construit vers 1300. Ce barrage, qui est bien conservé, a une longueur en crête de 55 m dont 12 m à partir de la culée Sud et 5 m à partir de la culée Nord sont rectilignes. La partie médiane de 38 m présente vue de l'aval une nette concavité dont le rayon de courbure est aussi 38 m. La hauteur de l'ouvrage est de 26 m.

La maçonnerie est ancrée latéralement dans le rocher par des culées qui s'insèrent dans des entailles visibles. Ces culées sont très soigneusement construites en raison du rôle important qu'elles jouent dans un barrage voûte. Il s'agit même ici d'un barrage en voûte mince car l'épaisseur ne dépasse pas 4,50 m à 5 m.

Sous le règne d'ABBAS II entre 1642 et 1667, de nombreux barrages ont été construits près de Meched, tels que le BAND-I-FARIDUN, ouvrage en maçonnerie de 36 m de hauteur, 87 m de longueur et 7,50 m d'épaisseur en crête.

C'est aussi sous le règne d'ABBAS II, qu'un ingénieur français du nom de GENEST aurait construit sur la rivière Karun un barrage, qui avait 90 m de long et 30 m de hauteur.

Le sommet de la technique de l'époque a été atteint sous le même règne au barrage-pont de PUL-I-KADJU, sur le Zayendeh Rud, qui élevait le niveau des eaux de 6 m, avait 145 m de long et 30 m d'épaisseur (dimension nécessaire pour soutenir le pont). Cet ouvrage particulièrement élégant est digne d'attention. Il peut avoir été inspiré par des constructions semblables des prédécesseurs sassanides d'ABBAS dont on a déjà parlé.

Dans ces régions passées sous la domination arabe après 622, début de l'Hégire, on peut citer quelques constructions. C'est près de Taif (Yémen) que le premier barrage musulman a été réalisé à 30 km à l'Est, dans le but de conserver les sols et l'eau suivant le modèle romano-nabatéen. Le barrage est construit en gros galets et a 8 à 9 m de hauteur et 75 m de long. Plus remarquable que l'ouvrage lui-même est l'inscription gravée dans la roche à une extrémité du barrage qui proclame : *« Ce barrage appartient à Abdullah Muawiyah, Commandeur des croyants. Abdullah Bin Sakhr l'a construit avec la permission d'allah, en l'année 58. Allah, pardon Abdullah Muawiyah, Commandeur des croyants, et le fortifie et lui donne la victoire et en accorde la jouissance au Commandeur des croyants. Amru Bin Janab a écrit cela ».*

En Irak, à l'époque Abbasside, il y avait trois barrages sur le Tigre au Nord de Bagdad. Le premier était le barrage datant de Nemrod, le second un barrage de dérivation près de Dur. Le troisième juste au Nord de Samarra a été construit par HAROUN-AL-RASCHID.

L'ouvrage le plus élégant de l'époque était situé près de Bagdad, sur la rivière Adheim. Le mur principal du barrage avait 180 m de long. Il se continuait à l'Ouest par un mur de 55 m de longueur formant une des parois du canal de dérivation NAHR BATT, qui en était issu. Le site ayant été

utilisé au mieux, la hauteur maximale était de 15 m mais elle se réduisait rapidement. La section du mur principal, trapézoïdale, avait une épaisseur de 3 m en crête et de 15 m à la base. La partie centrale de la construction est maintenant en ruine.

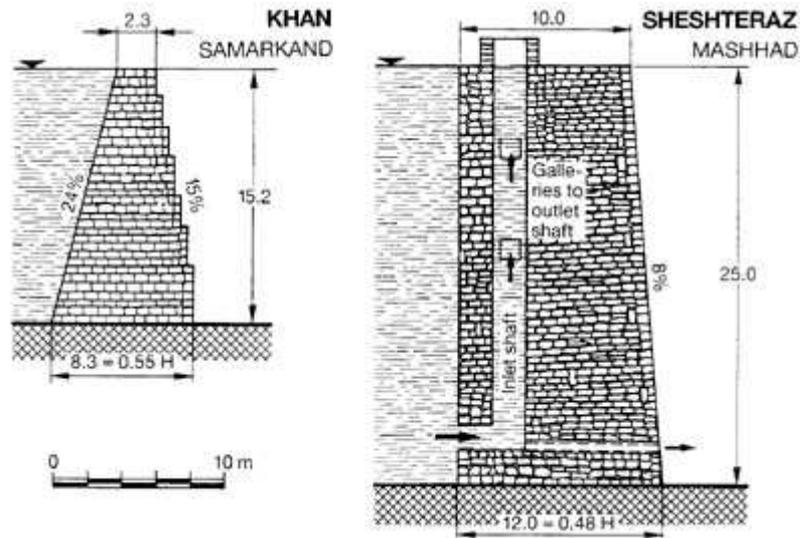


Figure 9 : Coupes de barrages poids construits au X^{ème} siècle en Uzbekistan (d'après Schnitter)

L'Europe du Moyen Age jusqu'aux temps modernes

La France au Moyen Age

Avec la chute de l'Empire romain, l'Europe entra dans une époque de décadence et de transition. Mais dès le X^{ème} siècle, et peut-être à partir de la Renaissance carolingienne, l'activité d'aménagement du territoire fut intense. Aux alentours de l'an mil, les moulins à eau se développèrent en France, comme dans le reste de l'Europe. Guillaume le Conquérant en recensa plus de 5.000 en Angleterre en 1066. Ils servaient non seulement à moudre le grain mais aussi à de nombreuses applications industrielles dans le textile ou la métallurgie (Figure 10).

Vue des deux déversoirs



Vannes réglables



Figure10 : digue de Jugon (1230). Capacité de 2,8 millions de m³ et hauteur de 8,5m.
Sa finalité était de constituer un plan d'eau de défense du chateau,
de faire tourner deux moulins et une forge et de permettre l'élevage du poisson

A la fin du XIII^{ème} siècle avant la terrible peste noire, il y avait, autant que l'on puisse l'estimer quelques 19 millions d'habitants sur le territoire de ce que sera plus tard la France, ce qui était tout à fait considérable pour l'époque à l'échelle mondiale, Chine comprise. Au fur et à mesure que ce que certains ont appelé la Révolution industrielle du Moyen Age progressait, ruisseaux et rivières

avec ou sans dérivation furent équipés de dizaines de milliers de moulins. Ce fut avant l'invention de la machine à vapeur, la seule énergie autre qu'humaine ou animale dont disposèrent nos ancêtres. L'utilisation de l'énergie hydraulique avec des systèmes de transmission très élaborés commença à cette époque. Dès la fin du XIII^{ème} siècle le nombre de moulins, qui sera dénombré à la Révolution française, est proche du chiffre de 100.000. En effet 20 000 moulins en Ile de France et jusque sur les bords de Loire sont estimés de manière sûre au XIII^{ème} siècle.

Les barrages nécessaires à l'alimentation de biefs de dérivation étaient de hauteur très modeste et leur capacité d'accumulation était pratiquement nulle. De nombreux étangs piscicoles réalisés autour des abbayes furent vraisemblablement à l'origine de barrages pour la quasi-totalité en terre, véritables lacs collinaires. Mais on peut penser que très rapidement ces barrages furent aussi utilisés à des fins énergétiques et en particulier pour la métallurgie. Celle-ci avait besoin de plus d'énergie que celle fournie par la plupart des moulins à grain. Le barrage créait une chute et pouvait permettre de stocker une certaine quantité d'eau. Ces barrages furent souvent rehaussés au cours des âges, réparés après les nombreux accidents résultant d'une connaissance hydrologique très limitée pendant des siècles, changés d'affectation, vidés pour certains, sans que la digue fût pour autant enlevée. Les marques de ce travail continuent de façonner le paysage français. Il existe en France plus de 3000 plans d'eau d'une superficie de plus de un hectare, dont 90% sont le produit du travail de l'homme, et 18% seulement conséquence de la construction d'un grand barrage. On peut penser que ce nombre avait été atteint depuis longtemps. Cette pratique a permis de constituer une connaissance empirique du milieu qui a permis le développement d'ouvrages plus importants.

Du XVI^{ème} au XIX^{ème} siècle, les besoins énergétiques de la sidérurgie au bois furent à l'origine de la réalisation de très nombreux lacs de forge de plusieurs dizaines d'hectares de superficie, stockant plusieurs millions de mètres cubes, dont la finalité première est oubliée des promeneurs, quand ce n'est pas le caractère artificiel du modelé du paysage qui ne se remarque pas.

L'Italie et l'Espagne après la Renaissance

Avec l'achèvement du Moyen Age, fixé pour l'Europe conventionnellement aux environs de 1453, date de la prise de Constantinople par les Turcs, la Renaissance entraîna un développement de l'économie européenne, en relation en particulier avec la découverte du nouveau Monde.

En 1450, le barrage-poids de CENTO, sur le Savio, de 8 m de haut et 60 m de long était construit à 30 km de Ravenne (Italie), 10 ans après c'est un barrage en terre de 8 m de haut et de 250 m de long qui est réalisé à 20 km au Nord de Landeck, en Autriche, pour constituer le réservoir de SPIEGELFREUDERSEE, utilisé avec quelques autres du même type pour la pisciculture.

L'activité principale se développa en Espagne où il existait des précédents romains et arabes. Un de ceux-ci était le barrage-poids d'ALMONACID, de 29 m de haut et 200 m de long, situé près de Saragosse, datant du XIII^{ème} siècle. Son réservoir est aujourd'hui remblayé et en culture.

Un autre barrage de l'époque arabe est le barrage voûte d'ALMANSA, de 13 m de hauteur, situé à 90 km au Nord d'Alicante, qui a été construit en 1384 et surélevé à sa hauteur actuelle de 25 m dans la seconde moitié du 16^{ème} siècle. Vers cette époque, les barrages voûtes ou poids voûtés de ELCHE (1570-1590) et de TIBI (1579-1589) étaient construits. Avec une hauteur de 46 m, ce dernier établissait un record de hauteur qu'il devait conserver près de 3 siècles. Il mesure 65 m de longueur et 20 m de largeur en crête. Son rayon amont est de 107 m. Epais à la base de 34 m, il exigea 36 000m³ de maçonnerie pour sa construction.

Les ouvrages espagnols qui suivirent montrent par rapport aux standards modernes des formes bizarres. Il en est ainsi du barrage voûte de RELLEU de 32 m de haut, au Nord-Est d'Alicante

(17^{ème} siècle), du barrage-poids d'ALBUHERA de FERIA de 24 m de haut, près de Badajoz (1747) et de la 1^{ère} phase du barrage-poids de VAL INFIERNO, de 36 m de haut, près de Lorca, à 130 km au Sud-Est d'Alicante (1785-1791). Les méthodes de calcul ne commencèrent à se développer qu'à partir du XVIII^{ème} siècle. Les concepts purement empiriques de cette époque étaient établis à la suite d'accidents spectaculaires comme celui survenu au barrage de PUENTES de 52 m de haut et 252 m de long construit de 1785 à 1791, après un premier essai qui avorta en 1648. Un autre accident est celui survenu au barrage de GASCO sur le Guadarrama, à l'Ouest de Madrid qui devait atteindre une hauteur de 93m, mais dont la construction fut abandonnée en 1789, à 57 m de hauteur, à la suite d'une forte crue.

Dans l'intervalle, d'autres barrages ont été construits en diverses parties de l'Europe. En Italie, au début du 17^{ème} siècle, le barrage en terre de TERNAVASSO de 7 m de haut était construit à 30 km Sud-Est de Turin, tandis que sur la rivière Fersina, près de Trente, le barrage voûte de PONTALTO était commencé en 1611. Il avait une hauteur de 5 m, un rayon de 15 m et une épaisseur uniforme d'environ 2 m. En 1752, il fut surélevé jusqu'à 17 m, puis successivement jusqu'à 25 m (1825), 34 m (1850) et enfin 38 m (1887). Chose curieuse, la voûte devient de plus en plus épaisse et le rayon de plus en plus petit dans les tranches supérieures au fur et à mesure que diminue la pression de l'eau.

En Turquie, le barrage-poids d'IKINCI était construit en 1651 au Nord d'Istanbul pour l'alimentation en eau de la ville.

La France et sa place en Europe à partir du XVII^{ème} siècle

Le premier grand barrage en termes de hauteur, date de Louis XIV. C'est entre 1667 et 1675, que le barrage en terre de Saint-Ferréol a été réalisé, à 50 km de Toulouse pour alimenter le canal du Midi. Avec une hauteur exceptionnelle à l'époque de 36 m, cet ouvrage plaçait les ingénieurs français en tête dans la construction des barrages en terre. Ce projet avait été conçu par le superintendant RIQUET pour lutter contre les famines du sud-est de la France mais ce dernier avait convaincu Louis XIV de le réaliser en lui faisant miroiter que les troupes royales pourraient ainsi rapidement défendre le pays contre les envahisseurs.

Les ingénieurs français donnèrent par la suite plutôt la préférence aux barrages en maçonnerie, à cause des données géomorphologiques des vallées industrielles où s'imposa la construction des barrages dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle. Par ailleurs le développement du ciment réduisit le coût des ouvrages en maçonnerie. Enfin les déboires techniques rencontrés par les ingénieurs dans la construction des digues en terre, dus à une maîtrise insuffisante de la connaissance des sols, conduisit à limiter les digues en terre à une hauteur de 15 mètres au début du XIX^{ème} siècle à 30 mètres à la fin de celui-ci. Sur 30 barrages encore en service de plus de 15 m de hauteur terminés en France à la fin du 19^{ème} siècle, environ 30% seulement sont du type en remblai, et sont de plus faible hauteur.

Le développement en Grande Bretagne a suivi une voie complètement opposée. Sur 188 barrages répondant aux critères précédents, il y avait seulement quelques barrages en maçonnerie. Ceci n'est que la conséquence de la nature géologique de la majorité des sites britanniques. Aux colonies, notamment aux Indes, les Britanniques construisirent relativement beaucoup plus de barrages en maçonnerie.

En Allemagne, quelques 60 réservoirs étaient réalisés dans le Oberharz, au Nord-Est de Göttingen, pour entraîner des roues à eau et remplacer les treuils à chevaux utilisés pour l'exploitation des mines. La structure la plus importante était le barrage de ODERTEICH construit entre 1714 et 1721, atteignant une hauteur de 22 m et une longueur de 151 m. Le premier barrage en terre moderne avec zonage, c'est-à-dire avec un noyau d'argile entre deux recharges, a été conçu à cette date en Bohême et au Harz.

Le second grand barrage français fut conçu par des ingénieurs saxons du Harz. C'est le barrage en enrochement de LA NOIE (1752), qui servit à faire fonctionner les roues d'exhaure de la mine de Poullaouën en Bretagne. La retenue fut vidée au milieu du XIX^{ème} siècle, mais la digue demeure.

Le développement d'un réseau de canaux dans des pays comme l'Angleterre ou la France, pour les canaux à point de partage, exigea la réalisation de réservoirs très importants à l'échelle de l'époque. Jusqu'à l'arrivée des chemins de fer, les canaux fournirent en effet le seul moyen de transport de masse nécessaire à l'industrie naissante. Une des préoccupations premières de l'Ancien Régime comme des régimes qui suivirent, fut la réalisation d'un réseau de voies d'eau constituées par des canaux ou des rivières canalisées. Le problème des transports constituait un goulot d'étranglement pour tout développement des échanges et de la production industrielle.

Un des tout premiers grands barrages français, terminé en 1766, le barrage de CAROMB, fruit d'une initiative communale, combinait les finalités de l'irrigation et de l'énergie. Trois moulins utilisaient l'eau avant son transfert pour les arrosages. Cette combinaison était très ancienne en Provence sur les canaux qui transportaient l'eau dérivée de la Durance ou du Rhône.

A la veille ou au tout début de la Révolution industrielle en Europe, on comptait 18 barrages de plus de 20 mètres de hauteur construits depuis le XII^{ème} siècle, dont 8 pour l'énergie, 7 pour l'irrigation, 3 pour la navigation. Ces barrages ne constituaient que la partie émergée d'une population de plusieurs milliers de retenues le plus souvent obtenues par des barrages en terre la plupart du temps de moins de dix mètres de hauteur, et qui répondaient à des besoins énergétiques pour hauts-fourneaux, forges, l'exhaure de mines, préparation du minerai, foulon et moulins, d'irrigation, alimentation de canaux, les finalités étant souvent multiples.

La Révolution industrielle allait augmenter le besoins de régulation et de stockage des eaux à des fins les plus diverses. Mais la finalité énergétique très importante depuis le XII^{ème} siècle, qui était d'ailleurs incluse dans un certain nombre de barrage de navigation, est redevenue prédominante dès 1850. Ainsi le projet du canal et de la digue du LAMPY (figure 11) adressé aux Etats du Languedoc par le Comte de Camaran, descendant de RIQUET et propriétaire du canal, était justifié par le fait que les 221 000 francs du coût du barrage pouvaient être amortis en 20 ans à 5% par les seuls revenus des moulins.

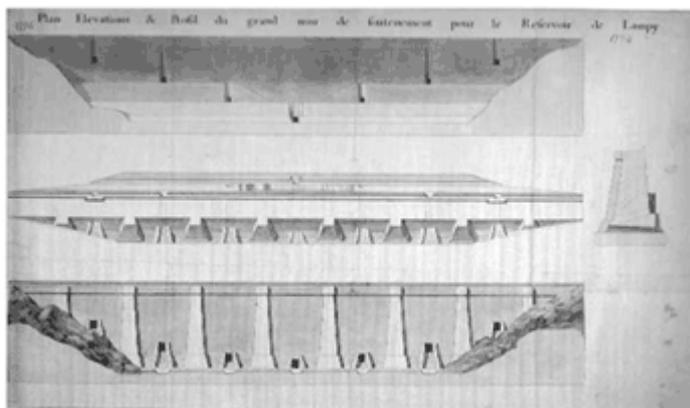


Figure 11 Le barrage du Lampy,
lavis des archives du canal du midi

BARRAGES EN EUROPE D'UNE HAUTEUR SUPERIEURE À 20 METRES JUSQU'EN 1815

ANNÉE	NOM	PAYS	HAUTEUR (m)	TYPE	FINALITÉ
XIIIe siècle	Almonacid	Espagne	25	Poids	Irrigation
1384-1586	-	Espagne	23	Poids (1)	Irrigation
1584	Tibi	Espagne	46 (2)	Poids (3)	Irrigation
1614	Dolna Hodrusa	Slovaquie	22	Remblai	Énergie
1640	Elche	Espagne	23	Voûte	Irrigation
1675	Saint-Ferréol	France	36 (4)	Remblai	Navigation
1704	Arguis	Espagne	23	Poids	Irrigation
1722	Oder	Allemagne	22	Poids	Irrigation
1740	Large Richnawa	Slovaquie	23	Remblai	Énergie
1744	Rozgrud	Slovaquie	30	Remblai	Énergie
1745	Horna Hodrusa	Slovaquie	22	Remblai	Énergie
1750(env)	Arquitos	Mexico	20	Contrefort	Énergie/Irrig.
1750(env)	San Blas	Mexico	24 (5)	Contrefort	Énergie/Irrig.
Avant 1770	Klinger	Slovaquie	22	Poids	Énergie
1776	Relleu	Espagne	29	Poids	Irrigation
1779	Pocuvadlo	Slovaquie	23	Remblai	Énergie
1788	Large Taul	Roumanie	28	Remblai	Énergie
1797	Slaithwaite	Angleterre	21	Remblai	Navigation
1800	Nado	Mexico	26	Poids	Irrigation
1806	Valdeinfierno	Espagne	30	Poids	Irrigation
1811	Couzon	France	35	Remblai	Navigation

(1) forme courbe en plan

(2) record du monde pour ce type de barrage

(3) record du monde pour ce type de barrage

(4) record du monde pour ce type de barrage

(5) record du monde pour ce type de barrage

Les Amériques

Le climat tant sur les hautes terres que le long de la côte, poussa très tôt les civilisations méso-américaines précolombiennes à trouver des solutions pour dériver et stocker l'eau pour l'alimentation en eau potable des populations ou l'irrigation.

Le plus vieil ouvrage précolombien, connu à ce jour, le barrage de PURRON, de 3 m de hauteur initiale, date de 700 av JC. Il s'agit d'un ouvrage mixte constitué de cellules en maçonnerie remplies de terre avec un talus aval consistant en un fort mur de soutènement incliné. Il fut surélevé à cause de l'alluvionnement, et atteignit 18 m de hauteur en l'an 200 et une capacité de 5,1 millions de m³. Il fut à nouveau légèrement surélevé en 1100. Il avait cette époque duré 1800 ans. Il fut détruit par submersion.

Près de Théotihuacan au Mexique il existe des traces de barrages. Bien d'autres barrages et sites pourraient être mentionnés. Toutes les grandes civilisations, Zapotèque, Maya, Toltèque ont laissé des restes non négligeables de barrages et d'aménagements hydroagricoles ou d'alimentation en eau potable. Ces civilisations étaient arrivées à un grand degré de raffinement. La dernière, celle des Aztèques, le montra dans l'organisation hydraulique de sa capitale Ténochtitlan.

Les Incas qui ne furent pas des bâtisseurs de grands ouvrages, montrèrent une grande habileté dans l'aménagement hydraulique d'un milieu difficile et souvent hostile. Dans les vallées de Népéna et de Canete au PEROU, il existe des traces de barrages précolombiens.

Enfin, il faut signaler les solutions apportées par les tribus Anasazi dans le Colorado et le nouveau Mexique pour survivre dans un environnement redoutablement aride. Elles consistaient en des barrages, stockages et aqueducs.

Les barrages utilisés pour l'irrigation ont rendu de précieux services. Les espagnols ont exporté leurs techniques vers leurs colonies américaines, bien que pour certaines d'entre elles, l'irrigation ait atteint un haut niveau de développement avant leur arrivée. Ils apportèrent surtout leur savoir dans le domaine de l'utilisation énergétique de l'eau.

Pour l'exploitation des mines de Potosi, en Bolivie entre 1573 et 1621, furent réalisés 30 réservoirs situés entre 4.200 et 4.800 m d'altitude pour un volume stocké total de 6 millions de mètres cubes. Ils permettaient le fonctionnement de 132 moulins de concassage et de préparation du minerai.

L'activité des Espagnols au Mexique, tout au moins, a été considérablement importante. Parmi d'autres, ils construisirent dans la seconde moitié du 18^{ème} siècle, près de Aguascalientes à 450 km au Nord-Ouest de MEXICO, le barrage à contreforts de PABELLON, de 24 m de haut et 177 m de long, ainsi que, ceux de LOS ARCOS et SAN JOSE DE GUADELUPE.

A la même époque les missions des Pères Jésuites à San Diego et Los Angelès, introduisirent la technique des barrages en Californie.

Au contraire de l'Amérique latine, sur le territoire au Nord-Est du Rio Grande, il n'y avait aucune tradition hydraulique, aussi fallut-il faire un transfert technologique à partir de l'Europe.

L'utilisation de l'énergie hydraulique aux Etats-Unis sous sa forme hydromécanique avant l'avènement de l'électricité fut considérable, malgré la disponibilité d'autres ressources telles que le bois et le charbon. L'utilisation de cette énergie joua un rôle très important dans le développement industriel des Etats-Unis tout au long du XIX^{ème} siècle.

De très nombreux barrages pour faire fonctionner des moulins furent réalisés, barrages dans lesquels les solutions utilisant les matériaux disponibles les plus divers furent imaginées. Une rivière telle que la rivière Charles fut équipée à partir de 1683.

Mais un des système les plus remarquables est celui du canal LOWELL en dérivation de la rivière Merrimack en amont des chutes de Pawtucket, dans l'état du Massachusetts. La mise en valeur énergétique du canal creusé en 1796 pour contourner les chutes, commença en 1821, et fit de Lowell la première grande cité industrielle des Etats-Unis. D'améliorations en améliorations et augmentations de sa capacité, le système permit au milieu du siècle de mobiliser plusieurs dizaines de milliers de chevaux.

Ce fut aussi dans le cadre des travaux d'extension des canaux de Lowell, dont il avait la responsabilité, que Francis mit au point sa turbine centripète à partir de 1840, qui allait dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle remplacer les turbines centrifuges françaises qui avaient révolutionné la production d'énergie à partir de 1830, et avaient été vendues dans le monde entier.

La ruée vers l'or dans les montagnes Rocheuses fut à l'origine de demande d'énergie pour l'exploitation des mines. Le contexte géographiques favorisa l'équipement de hautes chutes, qui conduisirent au développement de la turbine Pelton (1880).

Fruit des techniques européennes, environ 30 barrages en terre et 20 barrages en maçonnerie de plus de 15 m construits avant la fin du 19^{ème} siècle existent encore.

La Révolution industrielle et l'époque contemporaine

Il y avait environ une centaine de grands barrages dans le monde en 1800, près de mille en 1900, la plupart dans ce qu'on appelle les nations industrialisées, plus de 5000 en 1950 et près de 40 000 en 2000.

EVOLUTION DU NOMBRE DE GRANDS BARRAGES DANS DIFFERENTS PAYS

	1900	1919	1998	
			Enregistré	Dont < 14 m
Allemagne	15	43	311	39
Australie	33	68	486	54
Brésil	77 (6)	106	594	4
Canada	4	56	793	212
Espagne	52 (7)	108	1.187	273
Etats-Unis	95 (8)	473	6.375	0
France	35	61	569 (9)	24 (10)
Les Indes	37 (11)	158	4.010	1.529
Italie	6	26	524	11
Japon	6 (12)	15	1.077	273
Royaume Uni	188	266	517	70
Suisse	6	16	156	0

(6) Aucun chiffre ne figurait jusqu'alors dans les statistiques

(7) 26 puis 29, dans les relevés de 1984 et 1988

(8) 13 en 1984

(9) Corse et départements et territoires d'outre-mer inclus

(10) Il est certain que dans le cas de la France que tous les barrages de moins de 15 mètres de hauteurs et répondant à la norme de grand barrage, n'ont pas été inclus dans ce dénombrement

(11) 6 en 1984

(12) Valeur ayant culminé à 475 en 1984 et revue à la baisse depuis

Devant cette explosion, établir une chronologie et faire une revue des réalisations les plus marquantes, comme nous l'avons fait jusqu'à présent n'aurait pas de sens. Aussi le chapitre suivant décrira les divers types d'ouvrages construits à notre époque et donnera quelques renseignements sur les premiers barrages construits de chaque modèle, et leur filiation technique. On se limitera dans cette dernière partie à décrire certains développements qui ont fait date, et à traiter certaines caractéristiques propres au développement en France.

La Révolution industrielle commencée à la fin du XVIII^{ème} siècle en Grande Bretagne, poursuivie en France après les guerres napoléoniennes, s'étendit à toute l'Europe et aux Etats-Unis au cours du XIX^{ème} siècle puis au Japon à la fin de ce dernier. Elle est à l'origine du développement sans précédent de la construction des barrages qui était commandée par l'augmentation des besoins énergétiques qui trouva une solution avec l'électricité à partir de 1881, de la demande en eau potable et de l'irrigation, et à la protection contre les crues.

Une telle demande ne pouvait pas être sans influence sur les méthodes de conception et d'exécution des ouvrages. Ainsi vers le milieu du 19^{ème} siècle, à la suite du développement dans les années 1820 des théories de l'élasticité et de la résistance des matériaux, développement dans lequel brillèrent tout spécialement les ingénieurs français, des méthodes de calcul de plus en plus élaborées vinrent remplacer les calculs à la rupture jusqu'alors employés pour vérifier la stabilité des barrages en maçonnerie. Il paraît important de souligner que ce ne sont pas les méthodes de calcul qui ont permis le développement de la construction de barrages, mais la

demande de barrages due au développement économique qui a exigé des ingénieurs de dominer un certain nombre de problèmes techniques. Les ingénieurs dans le génie civil ne font que répondre à des défis qui leur sont imposés par la demande publique ou privée. Tel est le ressort du progrès de cette spécialité.

Si en France, les quelques grands barrages construits avant 1850, avaient pour premier but l'alimentation des canaux de transport, c'est le développement de la Révolution industrielle au cours du milieu du XIX^{ème} siècle, qui fut le moteur de la construction de barrages. Ils furent réalisés à des fins énergétiques, car l'énergie hydromécanique joua jusque dans les années 1870, un rôle très important dans l'industrie française. Beaucoup aussi furent construits pour la fourniture d'eau potable pour répondre à une urbanisation croissante, et au développement de l'hygiène. Les finalités d'irrigation et de protection contre les crues occupaient une place moindre. C'est ainsi que furent réalisés de nombreux barrages dans les vallées industrielles autour de Saint Etienne, dans les Vosges, et par surélévation des lacs pyrénéens.

Le barrage du FURENS terminé en 1866, occupe une place à part (figure 12). Avec 52 m, ce fut le record du monde de hauteur, toutes catégories confondues. Sa conception intégrait les progrès fait les décennies précédentes dans le génie civil. Il fut pris comme modèle dans le monde entier du barrage en maçonnerie. Les apports techniques de ce barrage sont décrits dans le chapitre suivant. C'était de plus un ouvrage à buts multiples, énergétique par le soutien apporté au débit d'étiage, pour l'alimentation en eau de la ville, enfin pour la protection contre les crues. Un des premiers ouvrages de protection contre les crues avait été la digue du PINAY sur la Loire, barrage à pertuis, construit en 1711, restauré et rehaussé au début du XIX^{ème} siècle, et qui protégea efficacement la ville de Roanne lors des crues de 1846 et 1856. Deux autres ouvrages identiques avaient été construits sur le même fleuve en même temps, et ont disparu depuis.

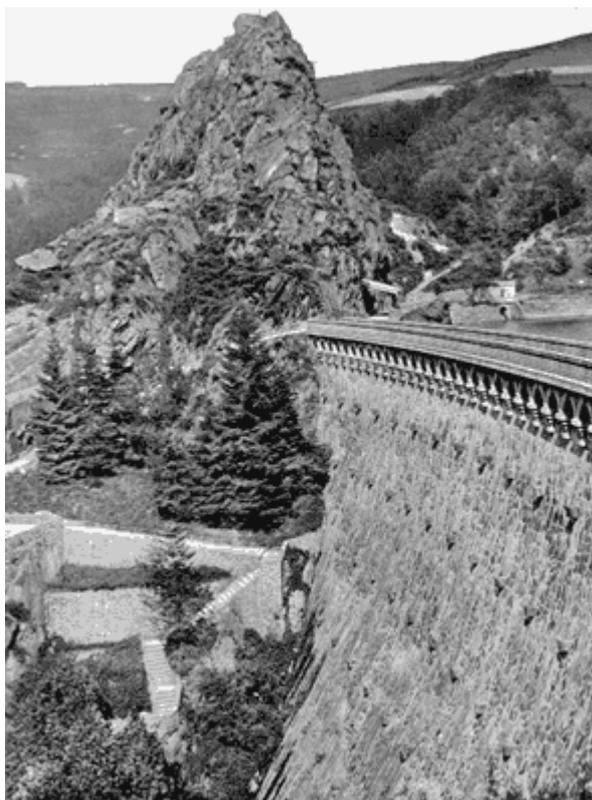


Figure 12 : Le barrage de Furens



Figure 13 : Le barrage de Pinay

La suprématie du barrage en maçonnerie à partir de 1850 dans tous les pays du monde, Grande Bretagne excepté, est à mettre en relation avec les progrès dans la fabrication des liants hydrauliques. On était plus sûr de l'étanchéité de la construction, de sa résistance à moyen terme. C'est cette même résistance qui permet dans le cadre de la recherche de l'économie de concevoir des barrages voûtes qui font travailler au mieux de ses propriétés la maçonnerie. Le premier barrage voûte de l'époque moderne dû à François ZOLA le père de l'écrivain, de 42m de hauteur fut terminé en 1854 et aussitôt oublié. Un barrage d'un type similaire fut réalisé en Australie en 1856, d'une hauteur plus faible. En Californie, en 1884 un autre barrage fut construit avant qu'une série de barrages voûtes en béton fusse construite au début du XX^{ème} siècle, à nouveau en Australie. Ces évolutions qui constituent autant de progrès, sont en fait commandées par la qualité géologique du site, la disponibilité des matériaux, de la main d'œuvre, des possibilités d'utilisation de matériel mécanisé sur le site. Les sites anglais imposaient pour la plupart des barrages en terre de hauteur limitée de l'ordre de 30 mètres, hauteur que l'on craignait de dépasser encore au début du XX^{ème} siècle. La technique des barrages en terre était limitée par l'absence d'une connaissance théorique qui permette une modélisation efficace des ouvrages à construire. On peut penser que l'urgence à trouver une solution quand il fallut irriguer les grandes plaines de l'Ouest américain à partir de 1905 date la création de l'United States Bureau of Reclamation, USBR, la possibilité de disposer de matériel de terrassement à partir de l'expérience de la mécanisation de l'agriculture, est une sinon la raison des progrès de la mécanique des sols dans les années 1920. Dès lors les barrages en terres purent rivaliser en hauteur avec les barrages non plus en maçonnerie, mais en béton, matériau infiniment plus facile à fabriquer et à mettre en place que la maçonnerie.

C'est donc à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} siècle qu'apparurent les différents types de barrages décrits dans la rubrique construction. Cette diversification avait pour but d'apporter pour chaque site la réponse qui tenait compte au mieux des données techniques du site et de son environnement économique et social afin de concevoir et réaliser l'ouvrage le plus sûr et le plus économique.

On a ainsi disposé de méthodes, d'outils de dimensionnement et de moyens de construction qui permettaient d'envisager de pouvoir domestiquer les bassins versants les plus étendus.

C'est dans des pays disposant d'espaces considérables comme aux Etats-Unis, que furent entrepris des travaux d'aménagement à une échelle jusqu'alors inconnue. Au début du XX^{ème} siècle, les travaux de mise en valeur de l'Ouest américain, sous l'impulsion de l'USBR,

conduisirent à l'aménagement planifié à des fins multiples de bassin versant entier à l'échelle de région entière. Avant la Seconde guerre mondiale, on peut citer encore aux Etats-Unis, l'aménagement de la vallée de la Tennessee.

A partir de 1880, les inventions dues à l'électricité renforcèrent l'intérêt de la finalité énergétique des barrages. Les pratiques anciennes d'aménagement furent reprises avec simplement un changement d'échelle. Depuis le XVIII^{ème} siècle, les responsables en France avaient conscience du manque d'énergie comme celle fournie par le charbon. La première guerre mondiale mit le pays dans une situation énergétique critique. Cette situation est à l'origine d'une politique d'indépendance énergétique, et de la mise en valeur en premier lieu des ressources hydrauliques du pays. Alors qu'en métropole, en 1919, le volume d'eau stockée par les grands barrages s'élevait à un peu moins de 300 millions de mètres cubes, celui-ci atteint de nos jours 12 milliards de mètres cube, soit 40 fois plus. Malgré l'ampleur de ce chiffre, les ouvrages français n'ont pas été atteints de démesure. Les 4/5 de cette eau sont utilisés pour la production d'électricité, production sans effet de serre. Cette situation est assez particulière, si l'on sait que plus de la moitié des barrages dans le monde ont pour finalité l'irrigation, et que la plupart des barrages construits en Grande Bretagne jusqu'en 1900 soit 188 étaient destinés à l'alimentation en eau potable.

Cette finalité n'est pas exclusive. Un même ouvrage peut servir aussi à l'irrigation comme à SERRE-PONÇON ou à SAINTE-CROIX, suivant en cela les pratiques immémoriales déjà rappelées. Les barrages à finalité énergétique sur le Rhône ont permis sa mise en navigation, ce qui eut été impossible autrement. Les barrages sur la Seine permettent l'écrêtage des crues, le relèvement des débits d'étiage, qui répondent à des besoins fondamentaux d'une vallée fortement industrialisée et urbanisée.

Malgré la diminution du nombre des ouvrages restant à construire, l'entretien de ce patrimoine qui a modelé notre environnement, et son utilisation en tenant compte de l'évolution des besoins, constituent une tâche de toute première importance.

Un peu d'histoire des barrages français

Dès l'époque romaine il existait en France, comme en Espagne, des barrages en maçonnerie et des moulins. On en trouve des traces, ou des fondations, en Provence.



Le barrage Bøget fait par les romains, 2^e siècle A.C.

Les moulins, et donc les barrages de 1 ou 2 mètres de haut qui leur étaient associés, ont continué à exister, en petit nombre, pendant les siècles suivants. C'est à partir de l'an mil, environ, que les moulins se sont multipliés. Leur usage était destiné non seulement à moudre le grain mais à la fourniture de l'énergie, à écraser le minerai, battre le fer,...

La production d'électricité actuelle n'est que la version moderne d'une préoccupation millénaire, utiliser l'énergie de l'eau; un moulin alimenté jour et nuit par 1 m³/s d'eau sous une hauteur de chute de 1 m correspondait à une écurie d'une dizaine de chevaux qui n'auraient pas réclamé d'avoine: une fortune !!!

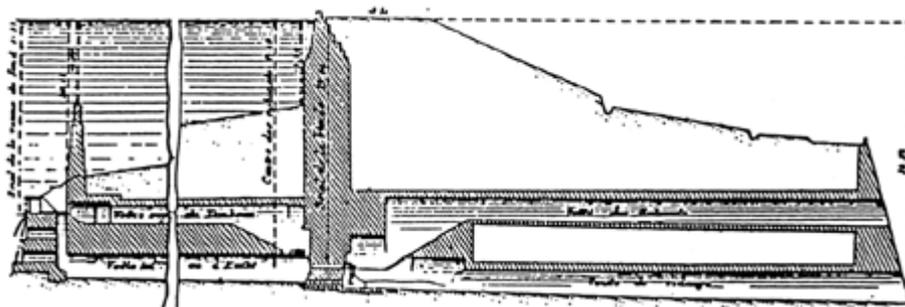
Puis vers le XII^e siècle se développèrent les étangs piscicoles, autour des abbayes notamment, dans les régions au sol peu perméable, étangs dont beaucoup subsistent, même s'ils sont intégrés au paysage au point de devenir quasi invisibles pour le voyageur pressé. Les étangs de la Dombes relèvent de cette catégorie.



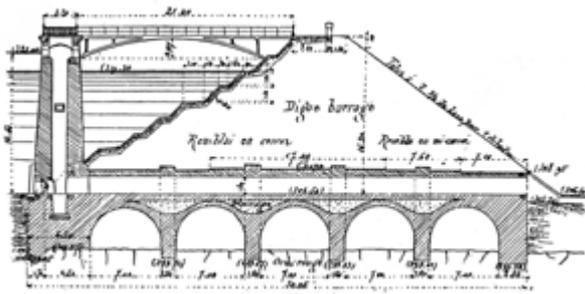
Restes du barrage romain d'Ervthrai (Turquie)

Mais les barrages mentionnés ci-dessus restaient de hauteur modeste: le premier grand barrage français, c'est-à-dire le premier barrage de plus de 15 m de hauteur, date de Louis XIV, c'est le barrage de Saint-Ferréol, toujours en service, associé au Canal des Deux Mers, de l'Atlantique à la Méditerranée en empruntant la vallée de la Garonne.

C'est en effet à cette époque qu'ont commencé à se développer en France les canaux réunissant deux bassins fluviaux voisins: Saône et Yonne, Loire et Rhône, ...



Digue de Saint-Ferréol



Prise d'eau de Torcy Neuf

Pour que ces ouvrages puissent fonctionner il faut alimenter en eau le bief de partage c'est-à-dire le bief le plus élevé) qui sera utilisé à droite et à gauche par les deux séries d'écluses. Les barrages antérieurs à 1850 sont presque tous des barrages de navigation.

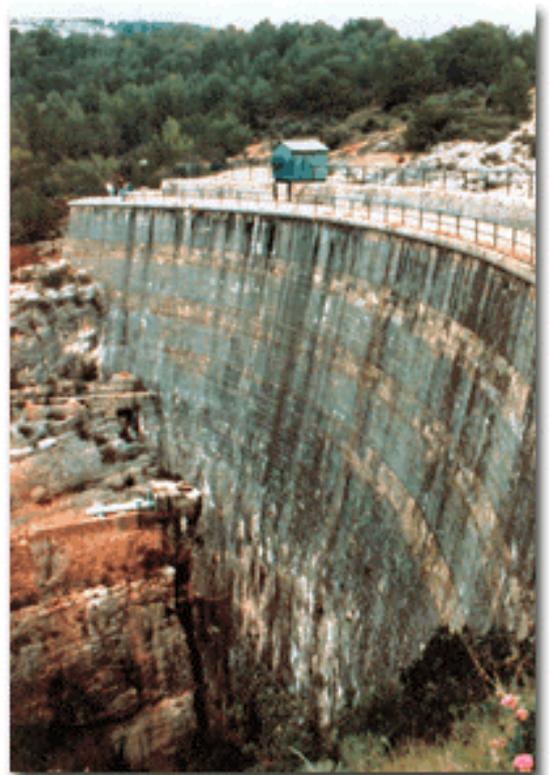
Par ailleurs dans les régions méditerranéennes les besoins en irrigation ont toujours existés. Les civilisations antiques d'Égypte et du Moyen Orient se sont en fait construites autour de l'utilisation de l'eau. En Provence, où l'eau est quand même un peu plus abondante, on a pu se contenter longtemps de l'eau prélevée directement par des canaux qui restaient alimentés toute l'année par des rivières pérennes. Mais les besoins augmentaient et le second grand barrage français (celui de Caromb construit un siècle après celui de Saint-Ferréol) fut destiné à l'irrigation. Les ouvrages se sont multipliés depuis et continuent à se construire, bien qu'en France ils demeurent de dimensions modestes (rarement plus d'une trentaine de mètres de haut) alors qu'à travers le monde les volumes d'eau stockés derrière les barrages, parfois gigantesques, sont majoritairement destinés à l'irrigation.

A partir de 1850 environ apparaissaient les premiers barrages destinés à assurer l'alimentation en eau des villes dans les régions qui ne disposaient pas de nappes importantes (et donc de puits ou de sources alimentées tout l'été). Le Massif Central a commencé, Vendée et Bretagne ont suivi.

Le premier barrage destiné à protéger, partiellement, une ville contre les crues date de 1866, c'est celui du Gouffre d'enfer en amont de Saint-Étienne. Il alimentait également la ville en eau et a constitué à l'époque une prouesse technique. Il a détenu longtemps le record du monde de hauteur : 52 m.

Enfin arriva la fée électrique, les petits moulins prirent de la hauteur, les vallées des massifs montagneux se développèrent autour et à partir de la houille blanche et les 4/5 de l'eau stockée en France derrière des barrages nous fournit de l'énergie dépourvue de gaz carbonique !!

Bien sûr de nombreux barrages sont mixtes et concourent à plusieurs usages: ceux du bassin de la Seine soutiennent les étiages et écrètent les inondations; les chapelets d'ouvrages sur le Rhône et le Rhin fournissent de l'électricité, permettent la navigation et, dans le cas du Rhône, l'irrigation ; les deux plus grandes retenues de la métropole (Serre Ponçon et Sainte-Croix) comportent une importante tranche de retenue destinée à l'irrigation...



Et l'on pourrait multiplier les exemples, sans omettre les utilisations touristiques.



Le barrage de Saint-Pierre Cognet

On constate actuellement une diminution sensible du nombre de nouveaux barrages. Il reste à les entretenir, et peut-être à vérifier que le meilleur usage de l'eau stockée derrière les retenues est celui que l'on avait défini à l'origine. Les activités de toutes natures associées aux barrages évoluent mais restent considérables.

REFERENCES

- Histoire de l'électricité chez Fayard
1991, tome1, sous la direction de F.Cardot et F.Caron Espoirs et conquêtes,
1881-1916 1994, tome 2, sous la direction de M. Lévy-Leboyer et de H. Morsel L'interconnexion et
le marché, 1919-1946
1996, tome 3, sous la direction de H. Morsel Une oeuvre nationale, l'équipement, la croissance de
la demande, le nucléaire, 1947-1990
- BARJOT D., "Travaux publics de France, un siècle d'entrepreneurs et d'entreprises, 1883-1993",
Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1993.
- BORDES Jean-Louis, 1999, Aperçu historique sur la notion de la pression de l'eau dans les sols et
les milieux fissurés du XVIII^e au début du XX^e siècle en France, Revue Française de
Géotechnique, n°87, 2^e trimestre 1999.
- BORDES Jean-Louis, 2000, Mobilisation et régularisation des ressources en eau, les barrages
réservoirs du milieu du XVIII^e siècle au début du XX^e siècle, thèse de doctorat d'histoire
soutenue le 22 novembre 2002, à l'Université de Paris I Panthéon-Sorbonne, sous la
direction de M. le professeur D. Woronoff, xi, xlv, 590, 35 p..
- BORDES Jean-Louis, 2005, Les barrages-réservoirs en France du milieu du XVIII^e siècle au début
du XX^e siècle, collection Histoire et Techniques, Presses de l'Ecole nationale des Ponts et
Chaussées, 448p.
- BORDES Jean-Louis, 2010, Les barrages en France du XVIII^e à la fin du XX^e siècle, histoire,
évolution technique et transmission du savoir », Pour mémoire, Revue du comité d'histoire
du ministère de l'Ecologie et du Développement durable, hiver 2010, n°9, p 70-120.
- CALVET Yves et GEYER, 1992, Bernard, Barrages antiques de Syrie, collection de la maison de
l'orient méditerranéen N°21. Série archéologique 1 2
- CARRERE Alain, 1996, Barrages, Techniques e l'Ingénieur, C5-555 pages 1-25
- GERARD Pierre, 1996, L'épopée hydroélectrique de Electricité de France, publié en 1996 par l'
Association pour l'histoire de l'électricité en France.
- MARY Marcel. Les barrages Presses Universitaires de France. Collection Que Sais-je. N°1183
- SCHNITTER N.J., 1994, A history of dams, the useful pyramids, Balkema, Rotterdam.
- SMITH, N., 1971, A history of dams, Peter Davies, Londres. c'est aussi Smith, professeur d'histoire
des techniques à l'Imperial college, qui a rédigé l'ouvrage : The heritage of spanish dams,
Collegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, Madrid, 1992.
- CONTACTS Pour plus de renseignements, veuillez contacter Jean-Louis BORDES à l'adresse
Internet suivante : jean-louis.bordes@wanadoo.fr