

Dans l'ancien Iran, les techniques de l'eau et la grande histoire

Henri Goblot

Citer ce document / Cite this document :

Goblot Henri. Dans l'ancien Iran, les techniques de l'eau et la grande histoire. In: Annales. Economies, sociétés, civilisations. 18^e année, N. 3, 1963. pp. 499-520;

doi : <https://doi.org/10.3406/ahess.1963.421011>

https://www.persee.fr/doc/ahess_0395-2649_1963_num_18_3_421011

Fichier pdf généré le 06/04/2018

TRAVAUX EN COURS

DANS L'ANCIEN IRAN, LES TECHNIQUES DE L'EAU ET LA GRANDE HISTOIRE

La découverte de certaines techniques, plus encore, leur mise en application systématique, avec persévérance et continuité, ont eu sur la vie et le développement de certains groupes humains une influence souvent déterminante. De même, des conditions favorables, économiques et politiques, ont donné aux techniciens, autant qu'aux artistes et aux savants, une impulsion, la possibilité de réalisations nouvelles. Ainsi se caractérisent des périodes d'essor, qui souvent alternent, non pas avec des époques de décadence, mais avec des périodes d'assoupissement qui pourraient faire croire, bien à tort, à l'extinction de capacités simplement inhibées pour un temps par une conjoncture défavorable. C'est le cas pour l'Iran et les précieuses techniques de l'eau.

1

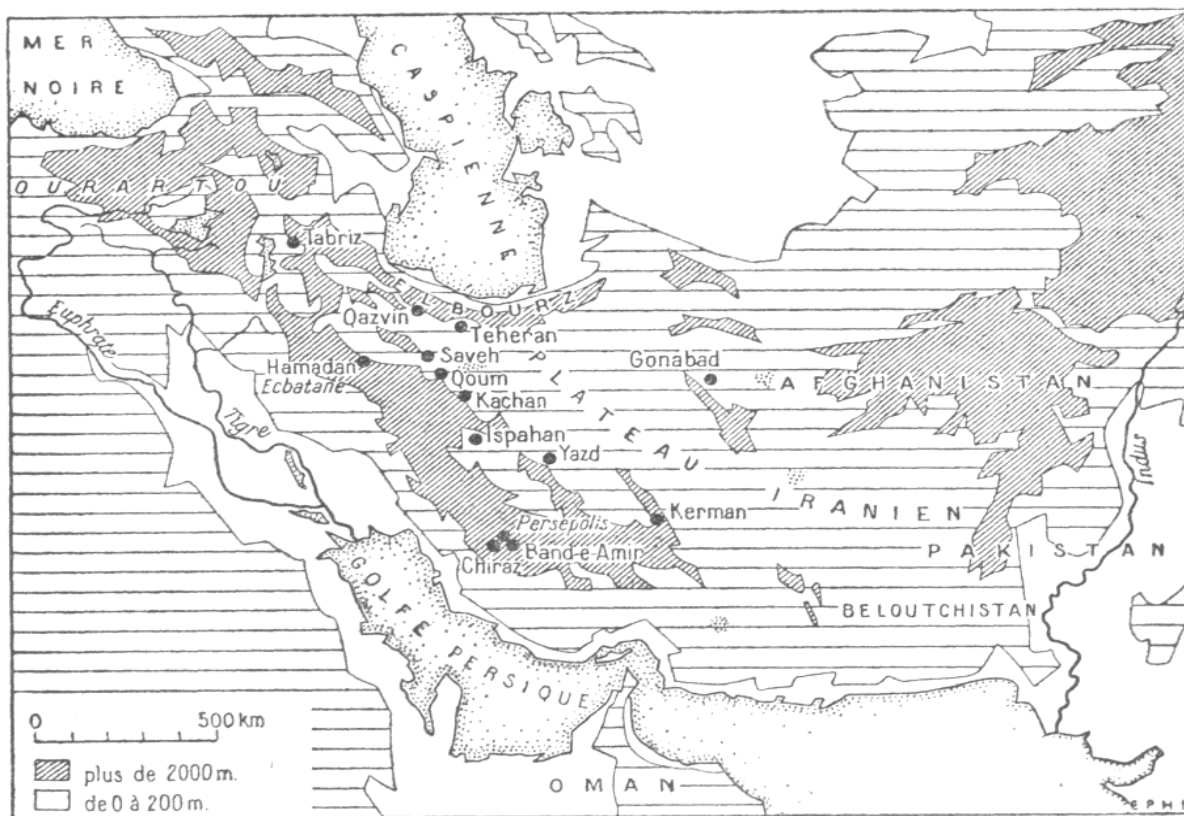
Une très faible partie des précipitations que reçoit le plateau Iranien parvient à la Caspienne, ou au Golfe Persique. La majorité de ce qui ne s'évapore pas immédiatement, s'écoule vers des dépressions intérieures, par des rivières, ou s'accumule dans les nappes souterraines nourries par les infiltrations importantes dans les zones de cailloutis et d'éboulis au pied des chaînes. L'importance relative de ces nappes souterraines vis-à-vis des écoulements de surface a été l'un des éléments principaux du succès de la technique des galeries drainantes que nous appellerons désormais *ganats*, vieux mot sémitique, probablement accadien, dérivé d'une racine « qana » (roseau) qui aurait donné naissance au mot grec « γαννα », d'où viennent « canna » et canal. J'emploierai ce mot, de préférence à celui de « qarez », adopté souvent par les Britanniques, et où l'on retrouve une racine iranienne exprimant l'idée d'écoulement.



Que sont ces qanats ?

Des auteurs les ont décrits comme des « aqueducs », ce qui est parfaitement inexact, et ne donne qu'une idée insuffisante de leur signification. Au vrai, ce sont des *mines d'eau*, constituées par des travers-bancs, reliés à la surface par des puits dont les orifices, alignés, forment la projection du trajet de la galerie. Ce sont ces alignements de petits cratères qui donnent au paysage, surtout lorsqu'on le survole, cet aspect si caractéristique, et qui frappe, en général, tous les observateurs. Les bords du cratère sont formés par les déblais provenant du puits et de la portion de galerie qui a été creusée à partir de ce puits. En outre, cet entourage de déblais est une protection contre les ruisseaux nés des pluies torrentielles, ou contre la chute d'animaux.

CARTE D'IRAN



Je ne partage pas l'avis de certains géographes qui considèrent que ce plateau aurait été jadis suffisamment arrosé, d'où son peuplement, et que c'est l'assèchement progressif qui aurait poussé les habitants à une recherche d'eaux souterraines, d'abord effectuée, ajoutent-ils, dans les

lits des rivières asséchées. C'est la théorie d'E. Huntington¹, et, plus encore, de G. Stratil-Sauer².

Sans entrer dans une longue discussion³, je pense, au contraire, que l'assèchement du plateau iranien a été antérieur au second millénaire. Depuis lors, évidemment, il y a eu des oscillations climatiques, mais dont l'amplitude n'a pas été très grande. Si, comme il est certain, les montagnes étaient beaucoup plus boisées qu'aujourd'hui, c'est l'homme plus encore que le climat qui a provoqué la disparition des forêts. Les explorations archéologiques sont encore très insuffisantes, certes, mais on peut considérer que le peuplement très ancien de ces contrées a été rare, disséminé : le respect religieux de l'arbre dans les vieilles traditions zoroastriennes prouve l'existence d'une certaine aridité.

Cette aridité cependant a été loin d'atteindre celle de l'Égypte, ou de la Mésopotamie. Notamment le versant Caspien de l'Elbourz a toujours été arrosé ; de même une bonne partie de la chaîne, son versant sud recevant encore des pluies presque suffisantes pour la vie des hommes et des rares troupeaux au débouché des torrents. Il en va de même pour les vallées intérieures du Zagros, et pour l'Arménie, qui fut le siège de la civilisation de l'Ourartou au second millénaire. Ce serait là que Sargon, au cours de sa huitième campagne, aperçut pour la première fois ces galeries drainantes qui lui firent tant d'impression. Serait-ce donc là qu'elles auraient été inventées, ou plus à l'est, au pied de l'Elbourz et de ses prolongements ?

Il est certain en tout cas qu'il n'y a pas eu « un inventeur ». Une quantité d'observations, d'essais, de longs tâtonnements permirent d'arriver à une mise au point qui doit dater de la fin du second millénaire, à l'époque de l'établissement de la série de villages qui jalonnent le pied de la chaîne, entre Téhéran et Qazvin.

Une telle technique, en effet, n'a pu se constituer que dans un milieu de cultivateurs, venant d'une région très arrosée (probablement des bords de la Caspienne), gens qui ne se contentaient pas d'un peu d'eau pour satisfaire à une maigre consommation domestique et à celle d'animaux d'accompagnement. Pour aboutir à ce résultat, il fallait savoir à l'avance les possibilités offertes par une irrigation abondante, il fallait aussi, parmi ces paysans, des gens connaissant les techniques des mines et les outils nécessaires au creusement de galeries et de puits. Comme me l'a signalé Henri Massé, dès que Houcheng, vers 1500 avant notre ère (?),

1. E. HUNTINGTON, *The Pulse of Asia*, Boston, 1907.

2. G. STRATIL-SAUER, « Birdjand, ein ostpersische Stadt », *Mit. der Geogr. Gesel.* Vienne, 1950 ; Du même : « Routen durch die Wüste Luot », *Mit. der Geogr. Gesel.*, Vienne, 1956.

3. Je me réserve d'y revenir dans une étude beaucoup plus approfondie, qui est en préparation ; de même en ce qui concerne d'autres points de mes recherches, dont je ne présente ici qu'une introduction.

eut mis au point les outils de fer, après les outils destinés à l'agriculture, il songea immédiatement aux outils permettant la recherche des eaux et à l'ouverture des canaux. Nouvelle preuve de l'aridité ancienne !

2

Quittant les plaines très arrosées des bords de la Caspienne, pénétrant dans les montagnes où les longues vallées longitudinales reçoivent des précipitations abondantes, mais n'offrent plus les surfaces nécessaires à une population en surnombre, les agriculteurs Indo-Européens, ancêtres des Mèdes et des Perses et, sans doute, proches parents des tribus de l'Ourartou, ont débouché vite sur le versant sud de l'Elbourz, et des vallées arrosées du Zagros méridional, c'est-à-dire autour de la dépression centrale, de plus en plus aride au fur et à mesure que l'on y pénètre.

Les quelques venues d'eau utilisées par les occupants antérieurs ne leur suffisant pas, ils durent s'installer au débouché de chaque torrent sur le plateau, et en élargir la surface utilisable par la construction de « *seguias* », comme le prouvent de nombreux vestiges. Ces « *seguias* », toujours en usage, ou renouvelées, sont de véritables aqueducs, puisqu'elles utilisent une eau visible, s'écoulant dans des torrents. Elles ont l'avantage de disperser les eaux d'une manière profitable, alors que, trop concentrées, elles sont plutôt nuisibles, et même destructrices. Ce fut le début de ce qu'on peut appeler, suivant la forte expression du Colonel Jean Baradez ¹, le commencement d'une politique d'empiètement sur la zone aride.

Mais cela ne suffisait pas. Alors, par une série de tâtonnements successifs, ces agriculteurs, aidés de quelques mineurs, mirent au point cette technique des galeries drainantes qui est utilisée encore aujourd'hui (depuis au moins trois mille ans !) dans tout le domaine iranien, avec un succès économique certain ; on ne l'a abandonnée, sous des prétextes divers, que dans les zones d'extension (souvent fort éloignées) où l'influence des initiateurs ne s'est plus exercée.

L'occupation visa tout d'abord les cônes de déjection et les éboulis de piémont, là où les eaux de précipitation ou de ruissellement s'infiltraient très rapidement, par conséquent la notion d'eau souterraine était du domaine de l'observation directe. Ces eaux infiltrées suivent les couches les plus perméables, qui vont en se différenciant de plus en plus au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la montagne. L'inclinaison de ces couches, forte tout d'abord, va en diminuant, suivant un profil semblable au profil d'un écoulement torrentiel, jusqu'à un niveau de base, commandé par les dépressions du plateau central où sont situées les zones marécageuses alimentées par ces nappes souterraines. Ces dépressions, appelées *kévirs*

1. *Fossatum Africae*, Paris, 1949.

en Iran, sont identiques par leur origine et leur structure aux chotts d'Afrique du Nord.

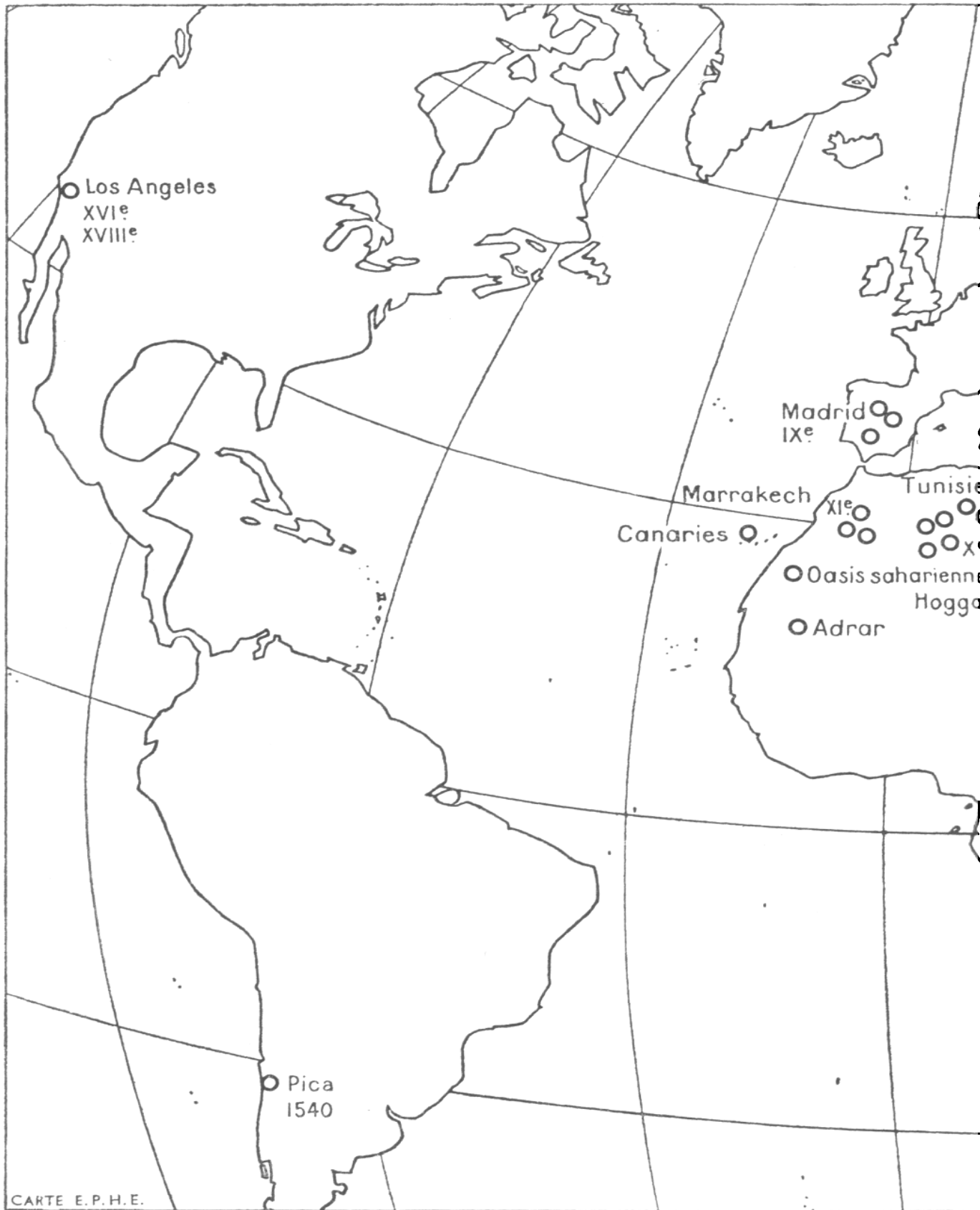
La surface du sol est également inclinée, mais suivant un profil différent, plus tendu, si bien que nappe et surface s'éloignent d'abord, pour se rejoindre au *kévir*, où le sol devient parfaitement inutilisable par suite des dépôts salins. Souvent, l'abord des kévirs est rendu presque impossible. Mais entre kévir et montagne, le sol alluvial se révèle propre à la végétation, s'il est irrigué.

Le mouvement le plus naturel à l'homme qui recherche de l'eau pour satisfaire les besoins immédiats de sa famille et de ses animaux est de creuser un puits. Mais la quantité obtenue est faible. L'eau du puits ne s'écoule pas, et même les procédés mécaniques, comme le treuil, le balancier, ou le « dalou », — une outre tirée par un animal, comme on en voit tant encore aux alentours de Persépolis, ou dans le Souss Marocain — sont fort peu avantageux en raison du médiocre débit obtenu. L'invention — anonyme — est née du jour où quelqu'un eut l'idée de dégager le terrain autour d'une venue d'eau ou d'un point humide, et eut remarqué qu'il se produisait alors un écoulement continu, en général dans une couche de sable ou de gravier reposant sur une couche argileuse, ou seulement limoneuse ; il aura alors imaginé de dégager encore plus le ruisseau souterrain en remontant le sens de son écoulement, et, pour cela, il aura creusé un canal de plus en plus profond vers l'amont. De nos jours encore, on peut assister à pareille opération : Mohsen Moghaddam, Professeur d'Histoire de l'Art à l'Université de Téhéran, m'a raconté avoir vu lui-même employer ce procédé à Chimeran, dans une propriété de ses parents.

L'approfondissement du canal, qui, généralement s'accompagne d'une augmentation du débit, incite à continuer. Mais le déblaiement de la terre devient considérable, malaisé. Malgré l'excellente tenue du terrain, une des conditions locales particulièrement favorable à la découverte et à l'application de cette technique, de petits éboulements se produisent qui obstruent le canal. De même, au bout de quelques mètres d'excavation, l'enlèvement des déblais devient pénible, et l'air vient à manquer. Alors, se plaça l'intervention du mineur : un premier puits à la verticale fut pratiqué pour rejoindre le canal à la surface, créant un courant d'air, et permettant, pour cet enlèvement des déblais, l'utilisation d'un treuil primitif, analogue, il y a trois mille ans, à celui que l'on emploie encore aujourd'hui. Après ce premier puits, on continua à remonter vers l'amont de l'écoulement, en faisant un nouveau puits, et en poursuivant tant que le travail était possible, en général assez loin, puisque l'eau s'écoule par la galerie déjà construite.

Ces remarquables techniciens, ces constructeurs de *qanats*, sont désignés du nom de *moqanis*, qui dérive de la même racine que *qanat*. Dans la région de Kerman, on les appelle aussi *tchahkan*, mot purement indo-européen dont la signification, en persan, est : « qui creuse les puits ».

L'ESQUISSE DE L'EXTENTION GÉOGR.
(ces données approximatives)



HIQUE DE LA TECHNIQUE DES QANATS
(ont été précisées ultérieurement.)



Aussi bien sont-ils entourés d'une grande considération, mais je ne crois pas que leur salaire soit supérieur à celui d'autres artisans. En général, le métier se transmet de père en fils, et il y a des villages qui fournissent une très grande proportion de *moqanis*.

Tous ces qanats, partant d'un point assez éloigné du versant abrupt de la montagne, se dirigent toujours vers celle-ci, que l'orifice soit un point humide, ou une très petite source, ou un puits creusé à faible profondeur. Certains constructeurs eurent même l'audace de partir d'un point sec, mais où il aurait été avantageux, à cause de la disposition du sol, ou pour tout autre motif, d'avoir une « tête » de réseau d'irrigation. Ils remontèrent vers la montagne par une galerie d'abord à sec, puis qui rencontre une couche aquifère et s'enfonce progressivement dans cette couche. Un pas nouveau, capital, était franchi. Le *qanat* avait une partie drainante en amont, une partie adductrice en aval. Désormais, les *moqanis* agirent, non pas en sourciers quelque peu magiciens, mais en vrais « hydrogéologues », sans peut-être pouvoir énoncer leur « théorie ». C'est ce qu'a remarqué le géologue M. Solignac pour la Tunisie ¹, où la technique a été introduite par des Persans, descendants des Barmécides, et ce qui a provoqué l'étonnement d'un géographe, F. Vergnaud, dans son livre sur le Sahara ².

3

Pour réaliser ces qanats, il fallait résoudre une série de problèmes techniques, et les solutions en ont été toujours très ingénieuses. Utilisées encore aujourd'hui, il n'y a pas de doute qu'elles datent des débuts de l'emploi de cette technique, soit bien avant l'établissement de l'Empire Achéménide. Il fallait assurer la position de chaque nouveau puits à l'aplomb de la galerie, fixer la pente, la maintenir régulière. Enfin se posaient des problèmes de nivellement, pour calculer si le niveau de l'eau obtenu dans le puits d'essai en amont assurerait l'écoulement jusqu'au point choisi pour débouché.

En règle générale, on maintenait tout d'abord la direction de la galerie aussi rectiligne que possible, mais, soit la rencontre au fond de blocs trop durs pour être attaqués, soit des dispositions défavorables du terrain de surface rendaient nécessaire d'établir des coudes. Pour changer de direction, il faut placer l'axe du treuil perpendiculairement à la nouvelle direction, et laisser tomber le câble des deux côtés du treuil ; une règle touchant les deux brins du câble donne, au fond, une direction parallèle à celle choisie à la surface, ou bien l'inverse. Puis, pour maintenir la

1. *Travaux hydrauliques Hafsidés de Tunisie*, Alger, Société historique algérienne, 1936.

2. *Le Sahara, Le Seuil*, « Petite Planète », 1959.

tenir la direction au fond, l'ombre de deux brins du câble, en concordance sur le front de taille, donne la direction du creusement.

Pour assurer la pente du canal adducteur, on se sert d'une équerre isocèle, à 45°, facile à construire. Sur l'hypothénuse, deux traits équidistants de la position prise par le fil à plomb lorsque cette hypothénuse est horizontale, servent à régler la pente.

Les ingénieurs de la première mission venue en Iran pour des études de distribution d'eau, ont constaté que tous les *qanats* alimentant la ville de Rey, au Sud de Téhéran, et dont la longueur varie de 10 à 15 kilomètres, ont une pente d'1 pour 1 000, exactement ce qu'il faut pour assurer un bon écoulement, sans éroder le lit naturel de graviers colmatés.

Enfin, pour les travaux de nivellement, le moqani dispose d'un très ingénieux instrument, décrit par Millard A. Butler¹, un des premiers qui aient consacré une étude à cette technique. L'instrument est fondé sur la perpendicularité des diagonales du losange, facile à construire. Suspendu à une chèvre au dessus d'un puits en creusement, une diagonale maintenue verticale par un fil à plomb, un baton fixé sur l'autre diagonale donne une ligne de visée horizontale, et un nœud fait à un autre fil à plomb, situé au dessus du puits le plus rapproché, permet de mesurer la différence de niveau, et de la surface, et du fond des puits, pour vérifier la régularité de la pente. Grâce à la nature du sol, dans ces puits et ces galeries, le boisage est inutile : le terrain tient. Si un soutènement se révèle nécessaire, on l'établit en descendant par les puits des anneaux en terre cuite, de forme ovale, appelés *kavals*, disposés de façon à s'emboîter les uns dans les autres.

4

Il existe des *qanats* très courts : à peine quelques centaines de mètres, surtout dans les lits majeurs de certaines grandes vallées, comme celle du Keredj, à l'ouest de Téhéran. Ils servent alors de drains pour la partie supérieure et amènent l'eau drainée en aval, où elle est utilisée : ce sont des *qanats* « de reprise ».

Généralement les *qanats* ont plusieurs kilomètres de long, certains, près de la ville de Yazd, dépassent quarante-trois kilomètres, soit plus de deux fois le Simplon. La profondeur atteinte dépend de celle des couches aquifères, et du relief. Dans la région de Gonabad, dans l'est de l'Iran, nombre d'entre eux s'enfoncent à plus de 300 mètres. On peut affirmer qu'en moyenne, la longueur est comprise entre 5 et 10 kilomètres. Si l'on songe que leur nombre est estimé, pour l'Iran, entre 30 000 et 40 000, et qu'il y en a sans doute presque autant dans l'ensemble Afghanistan-

1. Millard A. BUTLER, *Irrigation in Persia by Kanats*, Civil Engineering, vol, 3, New York, 1933.

Bélouchistan, on se représente, du coup, l'énorme travail que cette réalisation a représenté.

Enorme, mais fructueux travail : le débit total des *qanats*, en Iran seulement, est estimé par les autorités, et par les différents auteurs, entre 500 et 750 mètres-cubes seconde, soit le débit de la Garonne à Bordeaux, le tiers du débit d'étiage du Nil au Caire. Et la totalité de ce débit est utilisée, répartie dans une très grande partie du pays.

Comme l'aridité n'est pas totale, cette quantité sert d'appoint, plus ou moins important suivant l'abondance des pluies de chaque région, et ces *qanats* permettent d'utiliser de bonnes terres qui seraient stériles ; on considère qu'environ 3 millions d'hectares, donnant la moitié de la production agricole de l'Iran sont ainsi mis en valeur. Voilà qui signale l'importance de l'« empiètement » ainsi réalisé sur le désert. En sept siècles de travail acharné, les Hollandais ont conquis sur les marais ou sur la mer 1 500 000 hectares. En trois millénaires, les Iraniens ont conquis le double sur le désert.

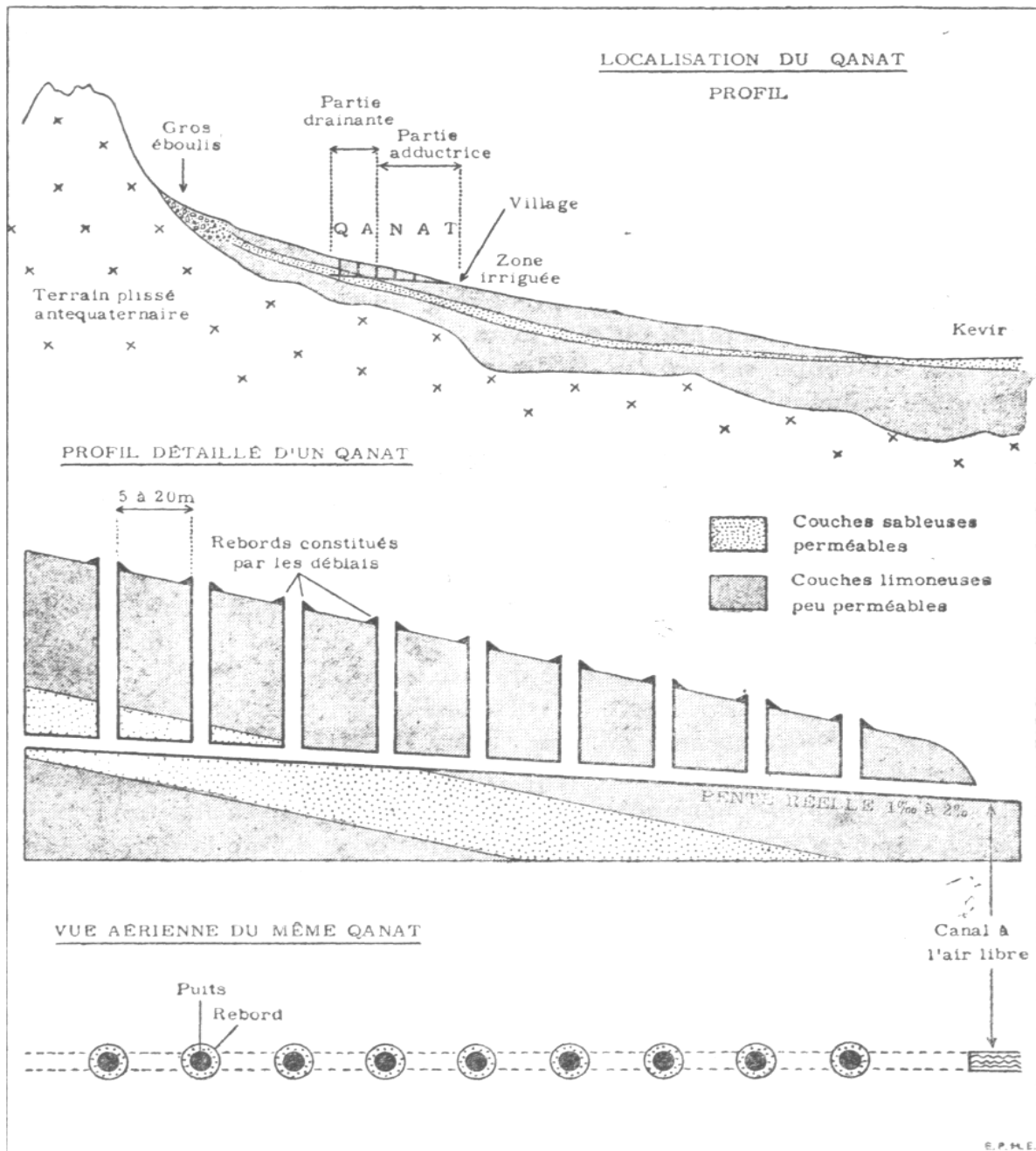
5

Tel fut le résultat d'une action voulue, poursuivie avec persévérance, tout aussi remarquable que la découverte progressive des procédés techniques. Il est probable que non seulement les petits chefs locaux y ont participé, mais qu'ils ont été encouragés par ceux qui allaient devenir les souverains. A chaque nouveau *qanat*, en effet, correspondait un nouveau village, de nouvelles terres, un nouveau groupe humain absorbant les excédents démographiques. Peu à peu, se constituait ce « paysage iranien » si caractéristique : au débouché du *qanat*, la maison du chef, souvent à un étage, entourée des maisons des villageois, des abris des animaux, de jardins et de cultures maraîchères, — ensemble très souvent circonscrit par un mur de pisé — les cultures céréalières occupant une vaste superficie desservie par des canaux, et disposées pour de longues jachères atteignant souvent dix ans. La distribution des terrains et les jours d'irrigation des parcelles étaient réglés par le chef du village, le *qanat* imposant une sorte de solidarité entre les habitants, ce qui n'excluait pas de sanglantes rivalités autour des droits d'eau. En Iran, comme dans les « huertas » d'Espagne, les délits et crimes ayant l'eau comme motif sont plus nombreux à eux seuls que ceux imputables à tous les autres causes.

6

La multiplication des villages, et la croissance d'une population sédentarisée, ont eu pour conséquence la création d'une vie urbaine, la ville étant alimentée par un ou plusieurs *qanats* convergents, suivant les

REPRÉSENTATION EN PROFIL ET VUE AÉRIENNE D'UN QANAT



besoins. Des canaux superficiels amènent l'eau dans les rues, avec une prise pour chaque maison, afin d'assurer les remplissages des bassins, des citernes, où la boue et les micro-organismes se déposent grâce à l'addition de sel et de chaux, si bien que cette eau, qui ne nous inspirerait aucune confiance, est presque toujours de bonne qualité, sauf naturellement dans les villes d'extension récente où les *qanats* d'alimentation se trouvent maintenant à proximité des puits perdus servant à l'évacuation des eaux usées. Comme, des siècles durant, les villes d'Iran ne sont pas sorties de leur périmètre ancien, le problème ne se posait pas. Le jour, on irrigue les jardins, divisés en quartiers entourés de rebords de terre. La nuit, de préférence, on remplit les citernes. Toute cette administration compliquée est placée sous l'autorité de fonctionnaires spécialisés, les « mirabs ».

Ainsi purent s'établir et prospérer des villes comme Ecbatane, l'actuelle Hamadan (conquise en 626 avant notre ère, par des assiégeants qui avaient coupé ses *qanats* d'alimentation). Il en est de même pour toutes les principales villes du plateau : Tabriz, Qazvin, Kachan, Chiraz, Kerman, Yazd, pour ne citer que les plus importantes. La capitale actuelle, Téhéran, est admirablement placée à l'abri des vents, mais surtout au centre d'un cirque où les eaux souterraines convergent de plusieurs directions. Jusqu'en 1930, elle n'a pas eu d'autres ressources que l'eau amenée par ses 12 *qanats*, débitant environ 800 litres par seconde. Pour une population qui, jusqu'à 1925, ne dépassait pas 200 000 habitants, cela représentait 350 litres par jour et par personne, ce que probablement peu de villes au monde pouvaient alors fournir à leurs habitants.

Donc, dès la mise en œuvre de cette technique, au début du 1^{er} millénaire environ, campagnes, villages, villes se sont trouvés à même de naître et de prospérer, dans un mouvement d'euphorie collective, comme celle que peut provoquer une « conquête » commune sur une nature hostile. Ainsi se sont créées les satrapies dont Darius nous donne la fière énumération. Les conditions de sécheresse devaient, à bien peu de chose près, être celles que l'on connaît de nos jours. Un édit de Darius ¹, exempta de toutes taxes pendant cinq générations — au moins un siècle — les revenus des exploitations nouvelles fondées grâce à des innovations hydrauliques.

Il nous est difficile de savoir la situation exacte de l'Iran, l'importance des travaux réalisés, au moment où Cyrus a pris le pouvoir et établi son Empire. Certainement une grande partie du réseau des *qanats* était exploitée, une population nombreuse pouvait vivre et prospérer, composée non seulement de paysans, mais d'artisans, de commerçants, d'employés d'administration. Sans cette base, malgré tout son génie, comment aurait-il pu accomplir son œuvre ? Comment lui-même et ses successeurs, les Achéménides, auraient-ils pu vaincre et conquérir les États voisins, l'Assyrie, la Babylonie, l'Asie Mineure, l'Égypte, menacer les cités grecques

1. Ce que m'a signalé le R.P. A.-M. STEVE, de l'École biblique de Jérusalem.

et les obliger à s'allier entre elles pour lutter contre le danger commun ?

Ensuite n'est-ce pas cette constante pression des Perses sur le Monde Méditerranéen qui a provoqué, pour finir, l'épopée d'Alexandre, dont l'aboutissement fut l'écroulement de leur Empire ? Sans cette technique des *qanats*, l'histoire du monde aurait été changée.

7

Évidemment, les *qanats* ne sont pas une solution parfaite. Chaque *qanat* donne un débit presque constant, été comme hiver, il n'y a donc aucun « frais d'exploitation », ce qui est, et surtout a été, un énorme avantage ; et les débits obtenus dépassent largement tous ceux que pouvaient donner les moyens primitifs, même à partir de grosses rivières. Ce débit présente des irrégularités, soit saisonnières, soit annuelles, dépendant du temps de l'infiltration et du cheminement des nappes. Irrégularités souvent favorables : le célèbre *qanat* de l'Ambassade d'Angleterre à Téhéran, qui a longtemps fourni l'eau potable des quartiers résidentiels, a un débit plus élevé en été qu'en hiver. Cette question importante exigerait une étude approfondie, qui reste à faire.

L'ingéniosité des Iraniens a su tirer partie de cet écoulement hivernal, non utilisé dans l'agriculture. L'eau d'un *qanat* est amenée dans une fosse assez plate, abritée, par un mur orienté est-ouest, des rayons du soleil de midi, et, par deux petits murs perpendiculaires, des rayons du matin et du soir. Sur le plateau, à une altitude variant de 1 000 à 1 500 mètres, il gèle régulièrement pendant plusieurs semaines. On laisse arriver l'eau derrière le mur, de façon à remplir la fosse profonde de 15 cm environ. Un trou dans le mur, à la moitié de sa longueur, permet le passage à une autre fosse disposée parallèlement, et ainsi de suite : une véritable batterie sera constituée. La glace une fois prise, sera emmagasinée dans des caves sous les fosses, et les propriétaires des *qanats* auront de la glace à leur disposition et pour la vente, jusqu'à l'automne suivant, palliatif ingénieux contre la perte d'une eau précieuse, qui s'échappe de la nappe en dehors des périodes d'utilisation par l'agriculture.

En tout cas, on comprend que l'hydrogéologue américain, C. F. Tolman, dans son traité classique ¹, ait consacré quelques pages de son introduction aux *qanats*, qu'il appelle « the greatest water-works of the Ancients ». Il est étonnant que cette technique et ses conséquences aient si peu attiré l'attention jusqu'à maintenant.

1. *Ground Water*, New York, 1937.

Extension géographique des Qanats

Cette technique se retrouve en de nombreuses régions, présentant plus ou moins les caractères rencontrés en Iran. En voyant, en frontispice, dans le traité de Tolman dont j'ai déjà parlé, une photographie du piémont alluvial des chaînes californiennes dont les eaux souterraines alimentent Los Angeles, j'ai cru reconnaître les versants de l'Elbourz ou des montagnes du Plateau Iranien. Donc rien d'étonnant qu'il y ait eu des qanats en Californie.

Convergence, ou transport de techniques ? Ce sera un des sujets principaux d'un de mes prochains travaux. Je me contenterai de donner aujourd'hui quelques grandes lignes.

On ne peut guère parler de convergence à l'intérieur d'un domaine, même aussi étendu que le domaine iranien (du 45^e au 70^e degré de longitude Est, et du 25^e au 40^e degré de latitude Nord), habité par des populations parentes, parlant des dialectes assez voisins pour se comprendre, qui collaborent plutôt à une invention commune, même si certains de ses détails sont retrouvés isolément par des travailleurs qui s'ignorent, même si la mise au point globale dure trois ou quatre siècles.

Mais dès qu'on sort de ce domaine iranien, partout j'ai pu détecter « le transfert culturel », même là où certains auteurs avaient admis, à cause de l'éloignement, une convergence possible.

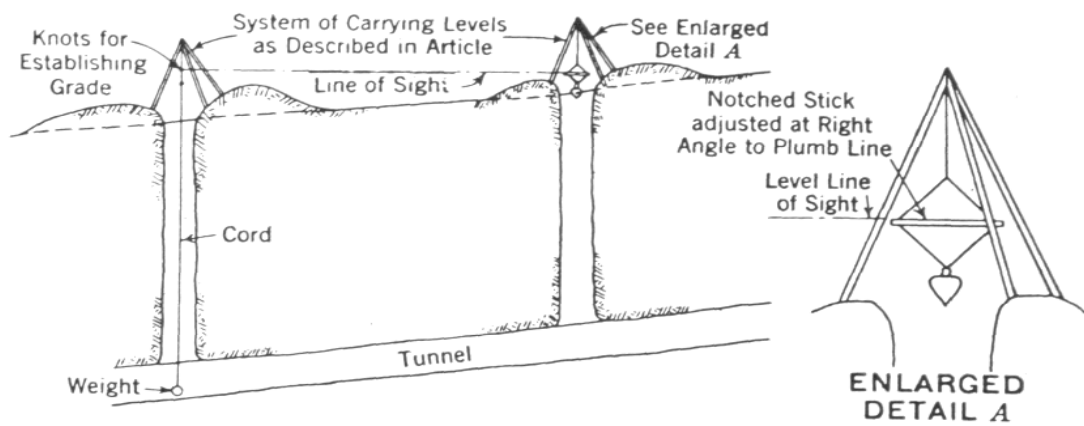
Lors de la conquête de l'Égypte par Darius, ce fut Scylax, le « Père des Ingénieurs », qui, sur l'ordre du Grand Roi, équipa l'oasis de Khargah. En remerciement des 15 000 hectares mis en valeur, les Égyptiens lui élevèrent un temple à Ibis.

En Arabie, d'après A. I. Wilson ¹, les *qanats* de la Péninsule d'Oman sont iraniens, ce qui n'a rien d'étonnant ; mais H. S. J.-B. Philby ² en a étudié au sud ouest de Riyad, et leur a reconnu la même origine, ainsi que dans d'autres régions de la péninsule. De même dans l'Hadramaout.

Vers l'est, on ne trouve pas de *qanats* au delà de l'Oasis de Tourfan (80° de longitude Est) ; mais ils y sont de construction relativement récente : 1780, puis 1845 ; on les appelle « qariz ». D'après les gens du pays consultés par Huntington, la technique passe pour d'origine persane. Étant donné le rôle considérable joué par les Chinois, remarquables inventeurs de techniques, il est intéressant de noter qu'ils ignorèrent cette dernière. Mais ils ont le grand mérite d'avoir trouvé celle du forage, employée par eux pour tous les gisements, y compris l'eau souterraine, et ils ont certainement exécuté des puits artésiens avant les moines de Lillers. Ibn Khaldoun raconte à ce sujet une histoire qui mériterait d'être

1. A.-T. WILSON, *The Persian Gulf*, 2^e éd., Londres, 1954.

2. H.S.J.B. PHILBY, *The heart of Arabia*, Londres, 1982.



METHOD OF ESTABLISHING THE GRADE OF A KANÁT

Extrait de *Civil Engineering*, février 1933, vol. 3, n° 2.



Débouché d'un qanat.

Illustration non autorisée à la diffusion

Mogani au travail (*Photo Khadem*).



Vue aérienne de qanats qui apparaissent comme de petits cratères.



Cette photographie représente l'extrémité ouest d'une glacière. Au second plan, on voit la face nord, donc dans l'ombre du grand mur orienté est-ouest, et qui protège la fosse des rayons du soleil pendant le milieu de la journée. Pour la protéger le matin et le soir, il y a des « retours » perpendiculaires, moins élevés et avec des décrochements. On voit au premier plan le retour ouest. La construction en pisé est très facilement reconnaissable.

vérifiée : les Persans auraient adopté un procédé chinois d'exécution de puits artésiens — procédé qui m'a l'air d'avoir été, depuis, totalement oublié.

C'est vers l'ouest que l'extension a été la plus importante. Il semble que l'Anatolie n'ait pas eu de qanats, malgré des conditions favorables. Par contre, ils sont connus en Syrie sous le nom de *kenayat*, mais n'y ont pas joué un rôle très important.

Que les Romains aient eu connaissance de cette technique, sans doute en Syrie, ou en Arménie, et qu'ils l'aient introduite en Afrique du Nord, sur une petite échelle, perfectionnant, suivant leur coutume la construction, devenue maçonnerie, mais ayant assez mal compris le sens du captage — voilà qui semble probable.

C'est avec les Arabes que ce procédé a été introduit en Afrique du Nord sur une grande échelle, mais uniquement par les vagues d'invasion arabe qui amenèrent des « Boramiks », c'est-à-dire les descendants de la célèbre tribu iranienne des Barmécides : donc à deux reprises, en 984 au Touat, puis vers 1280, (comme l'a montré A.G.P. Martin, dans son livre sur les Oasis Sahariennes ¹, en se fondant sur des chroniqueurs arabes). Dans son ouvrage sur les Barmécides, L. Bouvat ² signale que les Boramiks ont séjourné au Hoggar en 1309, et y ont sans doute construit des *qanats*, car il existe de ces galeries drainantes, que les Touaregs appellent « travaux persans » ³. Dans le Sud Algérien, on les appelle « foggaras » ; au Maroc « hettaras ». Elles ont eu un rôle économique important, mais on n'en construit plus, et l'on entretient mal le réseau existant depuis qu'ont disparu les esclaves noirs qui accomplissaient ce travail pénible.

Le Gouvernement de Chypre m'a adressé un important rapport sur le réseau existant dans l'île, et le Professeur A. Desio, de Milan, sur les *qanats* de Sicile ⁴. Mais la révélation la plus surprenante m'a été apportée par la lecture du remarquable ouvrage de Jaime Olivier Asin : *Historia del nombre Madrid* ⁵ : sans les galeries drainantes, appelées « viajes » — que l'auteur met en rapport avec les *qanats* de Perse —, Philippe II n'aurait pas choisi à Madrid l'emplacement de sa capitale ; il avait là un excellent ravitaillement en eau potable, et ces *qanats* ont été, jusque 1860, le seul moyen d'approvisionner la capitale espagnole.

Naturellement, il en exista aux Canaries. Et la technique a traversé l'Océan, avec les Espagnols qui l'avaient apprise des Persans, par l'intermédiaire des Arabes. Ils l'ont introduite en Californie, où, je l'ai dit, les conditions étaient des plus favorables. Dans le désert d'Atacama, l'oasis de Pica est alimentée par des galeries drainantes que certains avaient

1. *Les Oasis sahariennes*, Paris, 1903.

2. *Les Barmécides*, Paris, 1912.

3. D'après une information que m'a donnée le R.P. STEVE.

4. A. DESIO, *Geologia applicata all'Ingegneria*, Milan, 1959.

5. Madrid, 1959.

attribuées aux Incas, et peut-être même à une période antérieure. Le Gouvernement Chilien a eu l'obligeance de me communiquer un rapport très complet et très précis, d'où il résulte que ce sont des colons espagnols qui, peu après 1540, ont commencé à creuser ces galeries, là où les indigènes n'utilisaient, comme les Arabes très fréquemment, que les rares pluies torrentielles et les dépôts de limon qu'elles entraînent.

Ainsi donc, il me paraît acquis que les Iraniens furent les seuls inventeurs de la technique d'exploitation des nappes souterraines par des galeries drainantes ; qu'ils la répandirent dès la période achéménide, d'une façon systématique, et que, par la suite, soit directement, soit par l'intermédiaire de leurs « élèves », arabes, puis espagnols, ils furent à l'origine de sa diffusion jusqu'à l'Océan Pacifique vers l'Ouest.

9

Les barrages

Les ouvrages de prise d'eau sur les grands fleuves, dont certains remontent au troisième millénaire, si importants soient-ils, ne sont pas des barrages. Un barrage traverse totalement une vallée, entre des rives atteignant un niveau nettement supérieur à celui des plus fortes crues, afin de constituer, en amont, une réserve destinée à être utilisée pendant des périodes de sécheresse.

L'Édit de Darius, exemptant de taxes les revenus de terres mises en valeur par des nouveaux travaux, avait certainement pour but d'inciter à construire de nouveaux *ganats*. Mais c'est peut-être cette disposition du grand souverain qui a conduit un esprit inventif à édifier, dans la région de Persépolis, sur les affluents d'une même rivière, les trois barrages-poids découverts et décrits par K. Bergner ¹, en 1936.

Je n'ai malheureusement pas visité ces ouvrages, qui sont déjà de dimensions importantes. Le premier aurait 25 mètres de long et 20 de hauteur. Il est maçonné en gros blocs, et présente probablement un déversoir de crue. Je n'ai pu démêler les caractéristiques du second, qui barre un petit torrent, à sec en été. Il y aurait un canal d'évacuation. Le troisième serait le plus important, mais K. Bergner n'en donne pas les dimensions. Il semble que les cuvettes de retenue n'aient eu qu'une faible capacité, et qu'elles aient été très rapidement comblées par les alluvions.

Comme on doit entreprendre prochainement la construction d'un grand barrage dans cette région, il serait souhaitable que, parmi les ingénieurs amenés à exercer leur activité à proximité de ces ruines intéressantes, il s'en trouve au moins un qui relève les plans et fasse une description

1. K. BERGNER, « Bericht über unbekannte Achaemenidische Ruinen in der Ebene von Persepolis », *Archaeologische Mitteil. aus Iran*, VIII, I, 1-4, Berlin, 1936.

technique des ouvrages, pour compléter la connaissance sommaire que nous en avons.

Mais, alors qu'après la mise au point de la technique des galeries, il y eut une vraie « politique des *ganats* », l'invention achéménide des barrages, géniale en son genre, fut probablement un échec du point de vue économique. Les emplacements favorables sont rares, tout au moins à l'échelle de l'exécution possible ; les sites sont souvent éloignés des zones cultivables et habitables : le canal d'évacuation du troisième de ces barrages aurait eu 12 kilomètres, — mais c'est surtout le comblement des cuvettes qui a dû décevoir les ingénieurs. En outre, l'utilisation de l'eau accumulée pose des problèmes difficiles à résoudre. Il était donc trop tôt pour le barrage de retenue en région montagneuse. D'ailleurs, ce problème du comblement des cuvettes n'a toujours pas reçu de solution suffisante, et le public ne sait pas assez que tous les grands ouvrages de retenue ont une vie limitée, que les techniciens connaissent bien.

Aussi, n'y a-t-il pas, en Iran, d'autres barrages-poids d'âge achéménide. Il est probable que le barrage de la plaine de Batina, dans la péninsule d'Oman, est d'influence iranienne. Il y a aussi des *ganats* dans cette région, conquise par Cyrus en 536 avant notre ère, et qui à maintes reprises fut souvent sous la domination ou dans la sphère d'influence iranienne. Le problème se pose pour les barrages d'Arabie ¹, au sud-est de Taef, décrits par plusieurs auteurs depuis 1945, et surtout pour le très bel ouvrage de Mareb, au Yemen, dont la date de construction n'est pas très bien fixée, et qui semble avoir eu son importance économique, pendant une assez longue période. Cet ouvrage fait l'objet d'études, non terminées, de plusieurs groupes d'archéologues, qui pourront, je l'espère, compléter les résultats tout à fait remarquables déjà obtenus ². Sa destruction a provoqué la dispersion des populations qui cultivaient les terres mises en valeur, en particulier, de la tribu des « Azd ». En admettant que cet ouvrage remonte au v^e siècle avant notre ère, on pourrait y déceler une influence iranienne.

Mais il y eut, plus probablement, en ce qui concerne les barrages, un phénomène de convergence d'inventions opérées dans des domaines différents, et même des cas de « réinvention », dans le domaine iranien, par exemple. En effet, l'idée de barrer un cours d'eau dans un étranglement de sa vallée, lorsque l'on a remarqué qu'il a un gros débit dans les périodes de faible besoin, et qu'il est presque à sec, voire totalement, dans les périodes de demande, vient plus vite à l'esprit que celle d'aller chercher par une galerie peu inclinée les eaux d'infiltration contenues dans des nappes souterraines invisibles. Mais, une fois cette dernière technique mise au point, par des procédés correspondant aux possibilités de l'époque, elle a

1. Voir R.-L. BOWEN et F. ALBRIGHT, *Archaeological Discoveries in South Arabia*, Baltimore, 1958.

2. Jacques RYCKMANS, communication personnelle.

pu prendre l'extension considérable que nous lui connaissons avec de très importantes conséquences économiques, démographiques, donc politiques et historiques ; alors que celle des barrages est restée presque sans influence.

Peut-être les Iraniens ont-ils joué, pour les barrages aussi, un rôle de précurseurs : quelquefois ils ont introduit la technique, comme en Arabie, ou dans des barrages que l'on m'a signalés, sans précision, en Afghanistan ou au Cachemire, mais ils n'ont probablement pas été les inventeurs uniques. Par exemple, le très bel ouvrage d'Harbaqa, en Syrie, décrit par Daniel Schlumberger ¹, construit par les Romains au II^e siècle de notre ère, les huit barrages de la Forêt de Bosnie, construits au XII^e siècle par Andronic 1^{er} pour alimenter Byzance, les barrages espagnols du XVI^e siècle, à Elche, Almanza et Alicante, peuvent avoir été édifiés par des ingénieurs connaissant les barrages iraniens, mais ce n'est pas probable. D'ailleurs, le barrage sassanide décrit par Sir Aurel Stein, à Sarab-e-Siah ² toujours dans la province de Persépolis, et encore dans la même région, le remarquable ouvrage connu sous le nom de Band-e-Amir, construit au XI^e siècle de notre ère, sur la rivière formée par la réunion des trois torrents (sur lesquels existent des barrages achéménides), sont-ils des réinventions ; les constructeurs leur ont donné le profil caractéristique des barrages-poids, idée qu'un « homme du bâtiment » doit avoir immédiatement quand il s'agit de retenir une masse importante derrière un mur élevé.

Le barrage-poids de Saveh a été construit à la fin du XIII^e siècle, sur l'ordre de Chams-ed-Din, premier ministre de Soltan Ahmad, fils de Holagou, troisième souverain de la Dynastie Mongole. Cet ouvrage célèbre, décrit par de nombreux voyageurs, dont les Dieulafoy ³, est d'une très belle architecture ; il possède de remarquables dispositifs de descenderie, de galeries de visites à plusieurs étages, et j'ai pu y faire une rapide visite. L'architecte connaissait-il les ouvrages antérieurs de ce type ? En tout cas, il eut l'imprudence de ne pas pousser les fondations jusqu'à la « roche en place », et son ouvrage, placé sur les alluvions poreuses du lit mineur de la rivière, n'a provoqué aucune retenue, l'eau s'étant immédiatement frayé un chemin à travers ces alluvions. On raconte, dans les chroniques, qu'il se serait suicidé de désespoir.

De même, il est fort probable que Riquet, construisant son barrage de Saint-Ferréol, et prévoyant le barrage de Lamy, pour alimenter le canal du Midi, ne s'est pas inspiré de travaux antérieurs.

1. Daniel SCHLUMBERGER, « Les fouilles de Qasr El-Heir Gharbi » dans *Syria*, 1939, Paris, Geuthner, pp. 200-201, planche XXVII.

2. Sir Aurel STERN, *Old routes of Western Iran*, Londres, 1950.

3. Jane DIEULAFOY, *La Perse, la Chaldée et la Susiane*, Paris, 1887.

Après la période de demi-sommeil qui suivit l'écroulement de l'Empire achéménide, sous les descendants d'Alexandre, et pendant les quatre siècles de la domination parthe, la reconstruction de l'Empire, par les Sassanides, au III^e siècle de notre ère, a certainement provoqué un nouvel élan. Après la réorganisation intérieure, les Sassanides se sont trouvés en conflit avec l'Empire Romain, alors en pleine expansion vers l'Orient. L'empereur Sassanide Chapour 1^{er} fit prisonnier, en 260, l'empereur romain Valérien, avec une armée de 70 000 hommes, fait d'armes célébré par un bas-relief reproduit en plusieurs points de l'Empire.

Parmi les prisonniers, il y avait naturellement un corps du Génie, composé d'ingénieurs et de bons ouvriers, sachant utiliser des liants permettant les travaux en eau, par des procédés encore ignorés en Orient, où, semble-t-il, la chaux et le béton n'étaient pas encore connus. Les Romains avaient déjà construit pour leurs routes, ou pour leurs aqueducs, de grands ponts. Suggérèrent-ils à Chapour la construction d'une route impériale traversant les trois rivières de la plaine du Khouzesan, ou bien est-ce les Iraniens qui eurent l'idée de cette route? Toujours est-il certain, à mon avis, que ce sont ces derniers qui eurent l'idée d'utiliser ces trois ponts pour relever le niveau en amont, de façon à pouvoir employer une partie du débit pour l'irrigation, et comme il fallait régulariser ce niveau, laisser passer une grande partie de débit pendant les crues, ainsi furent conçus par les Iraniens, et construits par les Romains les trois grands ponts-barrages à vannes mobiles de Chouchtar, sur le Karoun, qui a 510 mètres de long, de Dizfoul, sur l'Ab-e-Diz, de 360 mètres, et de Païpol, sur la Karkhé, dont les ruines majestueuses sont une des parures de cette région, l'ancien Elam. Beaucoup plus tard, probablement vers le X^e siècle, on a utilisé certains des orifices pour installer des moulins à eau. Ces magnifiques ouvrages ont permis d'irriguer quelques milliers d'hectares, mais ils ne furent pas imités pendant des siècles : il aurait fallu avoir des rivières pérennes à utiliser, et elles sont rares. Cette invention resta aussi sans influence économique. Il fallu attendre le XVII^e siècle, pour que le Safavide Chah Abbas II fasse construire à Isfahan un barrage à vannes mobiles, sur une des très rares rivières du plateau : c'est le célèbre pont Khadjou, un des chefs-d'œuvre architecturaux de cette capitale.

La conquête arabe, de l'empire des Sassanides, par le Khalife Omar, fut un véritable cataclysme : il se produisit à la fois un vide presque absolu dans toutes les branches de l'activité, un changement de religion, une modification profonde de la langue, avec simplification de la gram-

maire et une forte imprégnation de vocables arabes. Et les Iraniens oublièrent leur propre histoire. Puis vint un lent renouveau, que les invasions turques ne purent empêcher, car, depuis lors, les Iraniens assimilèrent rapidement toutes les vagues successives d'envahisseurs : les Ghaznévides, les Sedjoukides, les Mongols, enfin Tamerlan ; quelles que fussent les destructions opérées, la structure même du pays tint bon. Plaque tournante entre monde méditerranéen et l'Est-Asiatique le commerce iranien devait sa prospérité à ces multiples contacts. D'où la reprise des grands travaux : mosquées, palais, routes, caravansérails, travaux hydrauliques. C'est à cet élan que sont dûs la création de nouveaux *qanats*, la construction des barrages-poids dont j'ai déjà parlé, celui de Band-e-Mir au XI^e, et surtout celui de Saveh au XIII^e. Le génie inventif se manifesta en Iran une fois de plus, mais trop tôt pour avoir des suites économiques, et même pour servir d'exemple et de modèle.

12

L'Office Autonome de l'Irrigation possède un catalogue des anciens barrages fondé sur les chroniques et les récits des voyageurs, ainsi que sur les explorations de ses propres ingénieurs. Il est d'autant plus surprenant que le plus intéressant de ces barrages soit resté inconnu, sauf des villageois des alentours, et de ses propriétaires, braves commerçants de la ville de Qoum, qui n'en comprennent pas l'intérêt et l'utilisent d'ailleurs fort mal. Et, cependant, quand on en connaît l'existence, on en aperçoit la crête, depuis la route de Kachan à Qoum, à environ 25 kilomètres de cette ville. J'ai eu la bonne fortune de le découvrir en 1956, en effectuant une prospection en vue d'alimenter Qoum en eau potable.

Avant de donner les caractéristiques remarquables de cet ouvrage, je dois signaler que ses constructeurs l'ont placé sur la seule rivière pérenne de la région, dont l'eau soit douce. Ainsi ont-ils agi en excellents hydrologues. En arrivant au barrage, j'ai aussitôt reconnu qu'il était ancien et, fait extrêmement remarquable, que c'était un barrage-voûte. J'y suis retourné à une dizaine de reprises, quelques heures chaque fois, et j'ai réuni assez d'éléments pour en donner une description préliminaire (que je publierai prochainement) et tracer le programme des travaux que mériterait ce remarquable ouvrage. Ses dimensions sont imposantes : 55 mètres de longueur en crête, 26 mètres de hauteur, au dessus du plan d'eau aval, 38 mètres de rayon de courbure, épaisseur de 5 mètres, avec parois verticales.

Le mode de construction et de nombreux dispositifs sont identiques à ceux du barrage-poids de Saveh, qui est bien daté. J'ai trouvé d'autres constructions mongoles dans les environs, enfin une des citernes situées au point d'aboutissement du canal d'utilisation serait typiquement

mongole ¹, Probablement ce barrage aura été construit à la même époque que celui de Saveh, par un chef local qui a voulu suivre l'exemple de son souverain ; mais plus heureux, le barrage aura servi. Cependant il est mort comme tous les barrages : la cuvette ayant été rapidement comblée, malgré une surélévation. Il a donc été abandonné pendant longtemps avant d'être repris par les possesseurs actuels.

Ce fut un éclair de génie que de lui avoir donné cette forme en voûte. Il s'agirait donc du plus ancien ouvrage connu de ce type, probablement le plus ancien jamais construit. On connaît, en Espagne, deux barrages arqués datant du xvi^e siècle, mais ils n'ont pas le profil caractéristique, et travaillent comme des barrages-poids. Jusqu'à ce jour, le plus ancien, à notre connaissance, était celui de Pontalto, commencé en 1611, situé en Italie, et ensuite, le barrage Zola (conçu par le père de l'écrivain) commencé en 1843, aux environs immédiats d'Aix-en-Provence. Dans la remarquable série d'inventions techniques des Iraniens, il manquait un fleuron à leur couronne : j'ai eu la chance de le retrouver.

13

Vers le xvi^e siècle, de même que la littérature a perdu son élan créateur, il semble que la capacité d'inventer et d'entreprendre se soit éteinte, en Iran. Cependant invasions et massacres étaient terminés, la dynastie safavide ramenait l'ordre et la paix. Est-ce la sévérité de la réforme religieuse qui chassa ou démoralisa les élites ? Sans doute. Mais des phénomènes extérieurs eurent une influence primordiale.

La découverte presque simultanée de la route des Indes par Vasco de Gama, et de celle du Nouveau Monde par Christophe Colomb déterminèrent un virement du commerce européen : à la Méditerranée succéda l'Atlantique. Les grandes voies du commerce international furent modifiées le rôle de plaque tournante joué par l'Iran, origine et secret de sa richesse et de sa puissance, tomba à néant. Un siècle plus tard, Chah Abbas eut beau reconstruire les routes et les ponts, édifier de somptueux caravanserais, le trafic ne reprit pas. De même que son pôle européen, Venise, l'Iran s'endormit, isolé de la sphère active du monde, et l'écart s'accrut surtout au xviii^e siècle. Comme l'a si bien montré Gaston Wiet, pour l'Égypte des Mamelouks ², un même phénomène extérieur eut les mêmes conséquences, sans qu'il y ait eu pourtant chute ou disparition des capacités intrinsèques des hommes. N'est-ce pas le sort même de tout l'Islam, espace-mouvement inséré dans l'épaisseur du Vieux-Monde et que le mouvement peu à peu abandonne ?

HENRI GOBLOT.

1. D'après André GODARD.

2. Gaston WIET, *Ayyoubides et Mamelouks*, dans *Histoire Universelle*, t. II, Paris, 1957.

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE (par dates de parution).

- Millard A. BUTLER, « Irrigation in Persia by Kanats », *Civil Engineering*, vol. 3 février 1933, New York.
- Gustav STRATIL-SAUER, *Kanate. — Umschau*, Francfort, 1937.
- E. NOEL, « Quanats », *Journal of Royal Central Asiam Society*, Londres, vol. 31, 1944.
- C.-G. FEILBERG, « Qanaterne », dans *Mélanges dédiés à A. Christensen*, Copenhague, 1945.
- Antony SHMITH, « Qanats », *Journal of Iran. Society*, Londres, juillet 1951.
- Philip BECKETT, « Qanats in Persia », *Journal of Iran Society*, Londres, janvier 1952.
- Philip BECKETT, *Quanats around Kerman*, Journal of Royal Central Asian Society, vol. 39, Londres, 1952.
- Karl SUTER, *Die Foggara des Touat*, Soc. des Naturalistes, Zürich, 1952.
- André CORNET, *Essai sur l'Hydrologie du Grand Erg Occidental, Les Foggaras*, Travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes, t. VIII, Alger, 1952.
- P.-L. FITT, *Irrigation Deve. in Central Persia*, Journal of Central Asian Society, vol. 40, Londres, 1953.
- J. HUMLUM, « Karezes », *Congrès Géol. Intern.*, Mexico, 1957.
- Georges B. CRESSEY, *Qanats, Karez and Foggaras*, American Geogr. Soc., New York, 1958.
- Esmail FEYLESSOUFI, *Eaux Souterraines, Kanats et Puits profonds en Iran*, Téhéran et Toulouse, 1959.
- Henri GOBLOT, « Le problème de l'eau en Iran », *Revue Orient*, 3^e trim., Paris 1962.