

Techniques et économies de la Méditerranée antique

M. Jean-Pierre BRUN, professeur

COURS : L'ARCHÉOLOGIE DE L'ÉNERGIE DANS L'ANTIQUITÉ

L'objectif de la chaire « Techniques et économies de la Méditerranée antique » est d'exposer l'apport des recherches archéologiques récentes, le plus souvent lors de fouilles préventives, à la connaissance de l'histoire des techniques et de leur impact sur l'économie antique.

Les modèles proposés pour l'économie antique n'ont, faute de sources, que marginalement abordé la question de l'énergie dont nous savons qu'elle est fondamentale pour toute civilisation. Elle est devenue cruciale dès les âges des métaux et encore plus durant l'Antiquité classique lorsque les échanges se sont multipliés et lorsque les techniques se sont complexifiées. L'étude de l'énergie a longtemps été négligée parce que, pour l'histoire ancienne, ce sont les documents subsistants qui balisent les champs d'études. Les problématiques ne peuvent se développer que par une interrogation des mêmes documents sous divers angles. L'abondance des inscriptions et des textes a ainsi permis un développement notable et une sophistication des études sur les religions antiques ou les carrières administratives, mais nous n'avons rien de tel pour l'énergie. Ne disposant que de peu de sources littéraires, souvent obscures, et non d'archives comptables, de statistiques ou de notices techniques, on est dépourvu d'instruments pour cerner les applications des diverses énergies et pour en mesurer l'impact.

L'état de la documentation archéologique introduit aussi des déséquilibres considérables. Son apport récent pousse à un réexamen de l'usage de l'énergie hydraulique mais les autres sources d'énergie sont plus difficilement abordables. Pour approcher ce domaine et en délimiter les lacunes, il convient de recenser les types d'énergie que les Anciens ont mobilisés. Les énergies mises en œuvre avant l'électricité dérivent toutes de l'action du soleil sur l'atmosphère, sur les plantes et les animaux. Cette action s'exerce :

– soit sur les végétaux donnant des combustibles (bois, charbon de bois, charbon de terre) qui furent les principales sources d'énergie utilisées jusqu'au XX^e siècle,

– soit sur les êtres vivants dont le travail peut être utilisé grâce à la domestication, pour les animaux, et à l'éducation, pour les hommes (qu'ils soient salariés, dépendants ou esclaves),

– soit sur la matière inanimée, par le rayonnement direct et par le mouvement des vents et de l'eau. Les vents sont surtout utilisés pour pousser des navires. L'eau, dont le cycle évaporation en mer – condensation sur les montagnes crée un flux d'énergie mobilisable, a été employée comme moyen de transport et pour actionner des machines.

En s'en tenant à l'énergie biologique, à celle du vent et de l'eau, nous négligerons l'énergie électrique et celle de la vapeur car, bien qu'elles aient été entrevues, il n'y a aucun indice de leur utilisation pratique dans l'Antiquité.

1. Le combustible

1.1. Le bois et le charbon de bois

L'énergie biologique comprend d'abord le bois, indispensable au chauffage, à la verrerie et à la briqueterie, et le charbon de bois, très utilisé dans la métallurgie du fer. La bordure nord de la Méditerranée était bien pourvue de forêts et il ne fait pas de doute que leur exploitation comme source de combustible a été une condition de l'essor de la métallurgie, notamment du fer. Ce dernier est un facteur essentiel du décollage économique dans la mesure où il permet de produire des outils solides dont l'emploi améliore les rendements agricoles et autorise le développement des artisanats.

Le bois était utilisé principalement pour la cuisine et le chauffage domestique dans des feux ouverts mais aussi pour des usages artisanaux multiples en utilisant des fours permettant d'élever la température. La cuisson des poteries, la calcination de la chaux, la production de poix et la fonte de certains métaux, tels que le cuivre, était réalisée avec du bois.

Le charbon de bois a un pouvoir calorifique plus important que le bois mais son action est limitée dans l'espace et ses braises ne peuvent pas chauffer un grand four. De plus, la cuisson des poteries nécessite un processus qui commence par un feu doux produit par des bûches et finit par un feu violent grâce à des bois de petit calibre, variations qu'on ne pourrait pas réaliser avec des charbons de bois.

Bien qu'elles donnent quelques lueurs ponctuelles souvent liées à des situations exceptionnelles comme l'île de Délos, les sources épigraphiques et textuelles ne sont pratiquement d'aucun secours pour mesurer la place du bois et du charbon de bois dans la consommation d'énergie durant l'Antiquité. Il faut donc recourir à l'étude des charbons eux-mêmes, tels qu'on les trouve dans les gisements archéologiques.

De telles études sont réalisées depuis une cinquantaine d'années, mais les prélèvements et les études dépendent des méthodologies archéologiques qui varient beaucoup selon les pays. L'Europe du Nord étudie plus systématiquement les charbons que les pays du pourtour méditerranéen pour des raisons évidentes de disponibilité de financements et de spécialistes. L'étude des charbons de bois ne permet pas de discriminer s'ils proviennent des résidus de bois de chauffe ou de charbons de bois volontairement fabriqués.

Cette énorme production de charbon de bois reste archéologiquement difficile à mettre en évidence car :

- prospecter et fouiller les forêts n'est pas une recherche archéologique gratifiante et cette tâche n'est entreprise que depuis peu ;
- les charbonnières sont des installations temporaires qui ont été souvent détruites par l'érosion et qui sont difficilement datables sauf par un recours au ¹⁴C ;
- les zones forestières sont plus rarement l'objet de fouille que les zones urbaines où même que les installations agricoles dans les plaines. Seuls les grands linéaires, comme les autoroutes et les voies de chemin de fer peuvent les recouper.

La fouille des charbonnières n'a pas encore suscité beaucoup d'intérêt sauf dans le cas de recherches sur la métallurgie du fer car cette dernière est grande consommatrice de charbon de bois. En effet, le procédé direct de réduction du fer implique une combinaison chimique entre les oxydes de fer et le carbone du charbon de bois. Des charbonnières antiques ont été mises au jour en liaison avec des bas-fourneaux de réduction du fer, par exemple sur le domaine des Forges, aux Martyrs (Aude) dans la seconde moitié du I^{er} siècle avant notre ère¹, aux Clérimois (Yonne) vers la fin du III^e - début du IV^e siècle², près d'Argenton-sur-Creuse, sur le site d'Oulches³. La localisation de ces bas-fourneaux de réduction du fer dans la Montagne Noire comme dans les forêts de l'Yonne ou du Berry s'explique d'ailleurs principalement par l'abondance du bois dans ce secteur, associée bien sûr à la présence de gisements de minerais. Mais le bois dont les fours faisaient une très grande consommation est l'élément déterminant, au point qu'au Moyen Âge, on disait que « le minerai va au bois ».

L'activité domestique et économique a-t-elle produit une déforestation ?

Dans un article paru en 2011, W.V. Harris fait le bilan de nos connaissances sur la déforestation réelle ou supposée de la Méditerranée dans l'Antiquité⁴. Harris constate d'emblée le fort contraste entre les évaluations pessimistes et optimistes de la situation selon les auteurs modernes et il montre que les données disponibles sont insuffisantes pour trancher. Après avoir examiné les sources écrites, toujours trop ponctuelles et non chiffrées, il utilise les données de la palynologie dans 16 régions tests et des raisonnements portant sur la variation de la pression démographique et de l'activité métallurgique. Il aboutit à la conclusion que la forêt a certes reculé partout depuis le Néolithique mais que, mis à part quelques régions, la situation sous l'Empire romain n'était pas dramatique, grâce à une meilleure gestion des forêts et à un commerce intense du bois par voie d'eau qui évitait une trop grande exploitation locale.

1. Domergue Cl. (dir.), *Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire : Le Domaine des Forges (Les Martyrs, Aude)*, Paris, Éditions du CNRS, 1993 (*Revue Archéologique de la Narbonnaise*, supplément n° 27) ; Decombeix P.M., Domergue Cl., Fabre J.-M., Gorgues A., Tollon F., Tournier B., « Réflexions sur l'organisation de la production du fer à l'époque romaine dans le bassin supérieur de la Dure, au voisinage des Martyrs (Aude) », *Gallia*, 2000, p. 23-36.

2. Dunikowsky C., Cabboï S., *La sidérurgie chez les Sénons : les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*. Documents d'archéologie française, 51, Paris, 1995.

3. Dumasy Fr., Dieudonné-Glad N., Laüt L., *Travail de la terre, travail du fer. L'espace rural autour d'Argentomagus (Saint-Marcel, Indre)*. Bordeaux, 2010.

4. Harris W.V., « Bois et déboisement dans la Méditerranée antique », *Annales HSS*, janvier-mars 2011, p. 105-140.

En Gaule méridionale, Lucie Chabal, étudiant la question sur la longue durée, entre le Néolithique final et l'Antiquité tardive⁵, conclut que les forêts, grâce à leur fort pouvoir de régénération après les coupes, n'étaient pas en danger à la période romaine. Le plus souvent, la taille des installations industrielles, même durant l'Empire romain, n'était pas suffisante pour mettre en péril l'abondant couvert forestier, notamment dans le Nord de la Méditerranée, grâce à la dispersion dans les forêts des ateliers. Cette dispersion des officines métallurgiques, des ateliers de potiers et des installations de production de poix (utilisée pour calfater les navires et rendre étanche les conteneurs) s'explique par un accès au combustible à bas coût. Elle permettait de limiter les frais de transport et de gérer au mieux les ressources fournies par la forêt.

L'utilisation du bois et du charbon de bois était d'une importance capitale ; il reste à tenter de quantifier la consommation de charbon de bois et donc la l'énergie disponible. En effet, rares sont les études qui prennent en compte l'impact économique du charbon de bois ; leur nombre se limite en fait aux industries qui consomment beaucoup de charbon de bois, comme les fonderies.

Pour entreprendre de telles études, il faudrait que soient réunies trois conditions :

- 1. que les archéologues recueillent systématiquement les charbons trouvés dans les sédiments en suivant des protocoles communs,
- 2. que les études anthracologiques deviennent elles aussi régulières – mais nous manquons de spécialistes,
- 3. que les identifications et les comptages réalisés soient disponibles dans des banques de données à partir desquelles les spécialistes pourraient élaborer des chiffres globaux.

Ces objectifs sont encore lointains mais une tendance favorable se dessine. D'une part, les recherches archéologiques sur certains sites intègrent, dès leur origine, l'analyse des charbons de bois dans une perspective économique ; c'est le cas du port antique de Lattes (Hérault), dont la fouille a été programmée en ce sens par M. Py avec des résultats d'autant plus novateurs que les données de l'anthracologie et de la carpologie ont été croisées avec celles de la céramique⁶. D'autre part, des sites emblématiques comme celui de Pompéi font l'objet de synthèses de données déjà publiées ou inédites ; Robin Veal, par exemple, a montré que, entre le III^e siècle avant J.-C. et le I^{er} siècle après J.-C., le hêtre, dominant au départ, fut progressivement remplacé par d'autres bois, notamment de fruitiers, signes du développement d'une arboriculture de rapport dans les alentours de la ville⁷.

Le bois n'était pas le seul combustible possible. D'autres ont été utilisés, en particulier dans les régions où une pénurie de bois se faisait sentir. On a ainsi employé des excréments d'herbivores séchés, notamment en Afrique du Nord et au Proche-Orient, et du grignon d'olives, c'est-à-dire le résidu ligneux qui reste après le pressurage des olives pour en extraire l'huile. Le grignon possède un fort pouvoir

5. Chabal L., *Forêts et sociétés en Languedoc, (Néolithique final – Antiquité tardive). L'anthracologie, méthode et paléoécologie, Document d'archéologie française*, 63, Paris, 1997, p. 142-143.

6. Py M., *Lattara : Lattes, Hérault : comptoir gaulois méditerranéen entre Étrusques, Grecs et Romains*, Paris, 2009.

7. Veal R., « Fuelling ancient Mediterranean cities: a framework for research », à paraître dans *History and environment in the Ancient Mediterranean*, Rome, American Academy in Rome, 2011.

calorifique et il servait à chauffer des thermes et des fours de potiers, par exemple dans le faubourg d'Acharnès, près d'Athènes, durant la deuxième moitié du III^e siècle après J.-C., ou dans ceux de Leptiminius, de Carthage et d'Uthina/Oudha en Afrique⁸. Les fouilles en cours de Nicolas Monteix sur les boulangeries de Pompéi montrent que le grignon d'olives est un des combustibles principaux (détermination V. Materne : fouilles 2012).

1.2. La houille

Les Anciens ont-ils employés les énergies fossiles, c'est-à-dire le pétrole et le charbon de terre ? Le bitume n'était utilisé que pour imperméabiliser les bois, pour tenter de soigner et pour alimenter des torches. Le charbon était employé dès le IV^e siècle avant J.-C. pour la métallurgie, en Thrace, en Élide et en Ligurie⁹. En Gaule et en Germanie, il y eut des exploitations de veines de surface au II^e siècle de notre ère¹⁰, mais cette utilisation semble avoir été ponctuelle alors que, dans la province de Bretagne, la houille était utilisée fréquemment dans les habitations pour le chauffage, notamment celui des hypocaustes, et dans les forges. Lors des fouilles des forts du mur d'Hadrien, son emploi a été constaté. Désormais, la multiplication des recherches montre que le charbon de terre n'était pas exploité avant la conquête romaine mais qu'il le fut assez largement entre le I^{er} et le IV^e siècle de notre ère.

L'absence d'utilisation du charbon avant la conquête et sa rapide diffusion par la suite impliquent une mise en exploitation des gisements dans la seconde moitié du I^{er} siècle de notre ère. Il est vraisemblable que, comme beaucoup d'autres innovations techniques, c'est l'armée qui a prospecté les gisements de charbon et créé une demande, notamment pour chauffer les bains et pour alimenter les forges. Dans les zones où il est facilement accessible, le charbon, facile à extraire, l'a emporté sur le bois pour son pouvoir calorifique.

Si la houille était ainsi couramment utilisée en Bretagne, pourquoi n'a-t-elle pas été aussi employée en Gaule et dans le bassin méditerranéen ? La réponse est probablement à chercher dans le coût relatif du transport et dans la disponibilité de bois en grande quantité partout en Gaule, en Italie, et dans les Balkans, ce qui rendait inutile et coûteuse une éventuelle exportation.

2. L'énergie animale

2.1. Les hommes

On a longtemps pensé que la disposition généralisée d'une main d'œuvre à bon marché, les esclaves, avait bloqué toute recherche de productivité et toute expansion

8. Leptiminius: Smith W., « Environmental sampling (1990–94) », *Leptiminius, report no 2. The East baths, cemeteries, kilns, Venus mosaic, site museum and other studies*, Ann Arbor, 2001, p. 434; Carthage : Hurst H.R., Roskams S.P., *Excavations at Carthage: the British Mission I.1. The Avenue du Président Habib Bourguiba, Salammbô. The site and finds other than pottery*, Sheffield, 1994, p. 113.

9. Théophraste, *De lapidibus*, 11, 12-13 et 18.

10. Bouthier A., « L'exploitation et l'utilisation de la houille en Gaule romaine », *Comité des travaux historiques et scientifiques, Congrès national des sociétés savantes*, 98, 1973, p. 143-156.

du machinisme dans l'Antiquité. La postface d'André Aymard au tome 1 de l'*Histoire générale du travail* est emblématique¹¹. Il avançait que l'existence de l'esclavage rendait inutile le recours aux machines que les Anciens, par esprit aristocratique condamnant le travail manuel seulement digne d'esclaves, auraient consciemment refusé.

L'explication est probablement plus simple : l'énergie des muscles humains est quasiment négligeable. Chaque fois qu'il a été possible de substituer à l'homme une force supérieure pour un coût acceptable, les Anciens l'ont fait. Nous le verrons à propos de l'emploi des animaux et de l'énergie hydraulique ; un moulin hydraulique pouvait en effet remplacer une cinquantaine d'hommes.

Mais pour la plupart des tâches spécialisées et complexe, il n'existait pas d'alternative et l'on utilisait les hommes qu'ils soient esclaves ou pauvres. Cette plus ou moins grande abondance de main d'œuvre à bon marché a pu être parfois un frein à la mise au point et à l'utilisation de certaines technologies sophistiquées comme cela a été constaté à l'époque moderne. L'énergie humaine était donc omniprésente mais les fluctuations démographiques et les différences régionales ont certainement eu une influence sur l'emploi d'autres énergies.

2.2. Les animaux

Seuls quelques animaux ont été utilisés pour le travail. Les petits ruminants n'ont pas été élevés pour leur énergie mais pour leur laine, leur lait et leur viande. De même pour les suidés, élevés pour leur viande. Mais les bovidés, les équidés et les camélidés étaient employés pour le trait et le portage.

Quant à la question de l'attelage, dont la prétendue déficience avait conduit le Ct. Lefebvre des Noëttes à postuler qu'elle avait rendu nécessaire l'esclavage, elle ne sera pas prise en considération, malgré sa longue postérité¹². Les études récentes, celles de Georges Raepsaet notamment, ont anéanti ces théories¹³. Cet aspect méritera qu'on s'y attarde un jour, mais ce sont les animaux eux-mêmes qui retiennent notre attention. À quelles tâches les a-t-on employés ? Une meilleure nutrition et une meilleure zootechnie ont-elles produit des animaux plus forts ? Dans quelles régions, et selon quelle évolution ? Les bovidés étaient utilisés pour tous les transports lourds et pour les labours. C'étaient les tracteurs de l'Antiquité, dans la mesure où il semble qu'on ait rarement attelé des équidés pour les labours (on utilisait d'ailleurs principalement des ânes ou des hybrides).

Les études d'archéozoologie sont relativement récentes et, sur les problématiques discutées ici, on ne dispose de synthèses que pour la Gaule, la Germanie et la Bretagne.

11. Aymard A., « Stagnation technique et esclavage », dans *Histoire générale du travail*, t. 1, *Préhistoire et Antiquité*, Paris, 1959, p. 371-379.

12. Lefebvre des Noëttes Ct., *La force motrice animale à travers les âges*, Paris, 1924² ; *L'attelage et le cheval de selle à travers les âges. Contribution à l'histoire de l'esclavage*, Paris, 1931.

13. Raepsaet G., « Attelages à brancards de l'époque romaine en Seine et Rhin », dans Raepsaet G., Rommelaere C., *Brancards et transport attelé entre Seine et Rhin de l'Antiquité au Moyen Âge. Aspects archéologiques, économiques et techniques*. Treignes, 1995, p. 45-56 ; Raepsaet G., *Attelages et techniques de transport dans le monde gréco-romain*, Bruxelles, 2002.

Avant la conquête romaine, les bovidés de Gaule indépendante étaient de petite taille et graciles. Les mesures ostéométriques montrent que l'amélioration des races est générale à partir de la fin du I^{er} siècle de notre ère, même si elle masque des particularités régionales dues à la qualité des sols et des pâtures. Ces nouveaux bovins améliorés maintiennent leur taille du II^e au VI^e siècle, leur stature diminue ensuite rapidement et, entre le IX^e et le XII^e siècle, les bovins sont aussi petits qu'à la Tène. Leur taille n'augmentera à nouveau qu'à partir du XIII^e siècle.

La diminution de la taille au Moyen Âge est attribuée par les archéozoologues à un changement du mode d'élevage qui s'adapte à un environnement complètement différent de celui de l'Empire romain et à des horizons beaucoup plus limités, à des circuits commerciaux plus courts, voire à l'autoconsommation. Les facteurs qui avaient provoqué une augmentation des tailles s'inversent alors : la demande de l'armée et des villes faiblit fortement et les connaissances savantes de zootechnie se perdent. Elles devenaient d'ailleurs inutiles dans la nouvelle configuration des débouchés potentiels et on aboutit à un abandon de la gestion de la reproduction laissée à la nature.

Au total, les études archéozoologiques montrent donc qu'il y eut un effort intellectuel et une réussite mesurables pour accroître la stature et la robustesse des bovins, et ce, afin d'utiliser au mieux leur énergie. Cette réussite a permis un meilleur labourage et des transports terrestres plus lourds, également conditionnés par l'amélioration considérable des routes grâce à la stabilisation de leur bande de roulement et à des ouvrages d'art.

Les équidés étaient utilisés pour le portage des hommes et des marchandises et pour le tractage des charrettes. Les données archéozoologiques sont moins nombreuses car ces animaux ne sont habituellement pas consommés et ne se retrouvent donc pas dans les dépotoirs alimentaires (ils sont enterrés ou jetés dans des fosses à l'écart).

La zootechnie de l'époque romaine s'est manifestée de deux façons : d'une part, comme chez les bovins, par l'augmentation de la taille des animaux, du fait d'une sélection et d'une meilleure nourriture, d'autre part, par la multiplication des mulets et des bardots, animaux plus résistants, susceptibles d'être utilisés pour tirer les charrettes¹⁴.

3. L'énergie éolienne

L'emploi de l'énergie éolienne a été d'une importance capitale pour la Méditerranée dès le Néolithique. Le vent propulse les navires de commerce, dont le nombre et la puissance ne cesse d'augmenter depuis la période archaïque, et surtout durant l'époque hellénistique et romaine, comme le prouve l'augmentation des naufrages, qui suit logiquement l'augmentation du trafic maritime¹⁵.

14. Molin M., « Une production à l'origine de progrès dans les transports à l'époque romaine : la mulasserie », *Techniques et économie antiques et médiévales*, Paris, 1997, p. 142-148.

15. Sur cette question, voir en dernier lieu Wilson A., *Developments in Mediterranean shipping and maritime trade from the Hellenistic period to AD 1000*, in Robinson D. Wilson A. (éd), *Maritime Archaeology and Ancient Trade in the Mediterranean*, Oxford, 2011. p. 33-59.

Cette utilisation d'une énergie gratuite et d'usage relativement aisé a été un facteur clé du développement et a fortement contribué à créer un espace économique largement unifié qui fut l'un des succès majeurs de l'Empire romain¹⁶. Le transport par mer coûtait la construction des navires, l'entretien des marins et l'amélioration des infrastructures portuaires, mais l'énergie de propulsion était gratuite. Lorsque de grands navires relativement sûrs ont fait de longues traversées, un énorme pas vers l'intégration économique a été réalisé : même des biens manufacturés de peu de prix, comme des céramiques culinaires fabriquées en Afrique, ou de grand poids, comme des meules ou des blocs de marbre ou de pierre, ont pu être commercialisés d'un bout à l'autre de la Méditerranée.

4. L'énergie hydraulique

4.1. Transports fluviaux

L'énergie hydraulique a d'abord été utilisée pour le flottage des bois et des transports de matériaux lourds ou de voyageurs portés sur des embarcations par le courant des rivières. Dans ce dernier cas, il fallait ensuite soit se débarrasser des bateaux, soit les remonter en les tirant sur des chemins de halage. Ce type de transport est bien illustré à l'époque romaine, notamment en Gaule, par la découverte de barges fluviales à Lyon et en Arles, sur le grand axe commercial qu'était alors le Rhône. En 2011 s'est achevée la fouille d'une barge à fond plat qui a coulé dans le fleuve, à Arles, durant la décennie 60 de notre ère¹⁷. Le chaland servait au transport des pierres à bâtir et il était doté d'un mât de halage. Mais ce n'est pas seulement en Gaule, laquelle était sillonnée de fleuves, que le courant d'eau pouvait être mis à profit. Il en allait de même de tous les cours d'eau navigables, qui firent l'objet d'aménagement (canaux et nettoyage des berges) afin de rendre possible les transports fluviaux, avec un usage de l'énergie hydraulique à l'aval et de l'énergie humaine à la remonte.

4.2. Irrigation

L'énergie hydraulique a été utilisée pour l'irrigation. Philon de Byzance, à la fin du III^e siècle avant J.-C. (*Pneumatica*, 61, 65) mentionne l'usage de roues élévatrices d'eau mues par le courant. La diffusion de ces engins est un phénomène particulièrement important car l'augmentation des rendements agricoles en dépendait directement.

4.3. Moulins à eau

L'énergie hydraulique a servi aussi à actionner des meules à grain, des pilons à broyer le minerai, des scies à marbre et probablement des pilons pour écraser du grain et des écorces afin de préparer le tan.

16. Bresson A., « Ecology and Beyond: the Mediterranean Paradigm », dans Harris W. (éd.), *Rethinking the Mediterranean*, Oxford, 2005, p. 94-114.

17. Marlier S., Greck S., Djaoui D. (dir.), *Arles-Rhône 3. Le naufrage d'un chaland antique dans le Rhône, enquête pluridisciplinaire*, Arles, 2011.

Le débat sur l'énergie hydraulique et son emploi dans l'Antiquité commence vraiment avec Marc Bloch et un article publié dans les *Annales* en 1935¹⁸. Pour en comprendre les enjeux, il faut se rappeler que les historiens des années 1930 ont pris conscience que la base matérielle des civilisations repose sur l'état des techniques et sur leur interaction avec la société. Marc Bloch, constatant que les sources antiques sur les moulins hydrauliques sont rares durant le Haut Empire et qu'elles deviennent relativement nombreuses durant l'Antiquité tardive, aboutit à la conclusion que le moulin à eau avait été peu employé, la disposition de nombreux esclaves permettant de s'en dispenser. Dans cette lignée, Moses I. Finley considérait que le moulin hydraulique ne s'est pas diffusé dans l'Antiquité parce qu'il n'y avait pas de nécessité économique à libérer les esclaves des tâches de mouture¹⁹.

L'approche ne commença à changer que lorsque Öljand Wikander publia des articles attribuant à l'Antiquité un usage répandu et multiforme de l'énergie hydraulique à partir de 1979²⁰, et qu'en France Marie-Claire Amouretti réhabilita les progrès techniques antiques en matière de mouture des grains²¹.

Mais ce fut surtout à partir de la fin des années 1980 que les progrès de l'archéologie préventive, d'abord en France, en Suisse et en Allemagne, apportèrent une documentation nouvelle bouleversant les conceptions qu'on croyait acquises sur une question devenue essentielle dans l'historiographie.

L'utilisation de l'énergie hydraulique a en effet focalisé les débats entre historiens de l'Antiquité car c'est la première énergie non biologique que les hommes ont utilisé pour mettre en mouvement des machines. Ce progrès a été considéré, à tort ou à raison, comme une étape vers un développement économique qui se serait interrompu. Dans cette perspective, la question est de savoir si l'emploi de l'énergie hydraulique a été suffisamment courant pour avoir un impact sur la vie économique antique ou s'il est resté marginal.

Pour tenter de répondre à cette question, il faut d'une part prendre la mesure de l'effet de sources, et d'autre part examiner la documentation archéologique qui doit

18. Bloch M., « Avènement et conquête du moulin à eau », *Annales d'histoire économique et sociale*, 36, 1935, p. 538-563 (rééd. *Mélanges historiques*, Paris, EHESS, 1983, p. 800-821).

19. Finley M.I., « Technical innovation and economic progress », *Economic historic journal*, XVIII, 1965, p. 29-45. Très critiqué dans Greene K., « Technological innovation and economic progress in the ancient world : M. I. Finley re-considered », *Economic historic journal*, LIII, 2000, p. 29-59.

20. Wikander Ö., « Water-mills in ancient Rome », *Opuscula romana*, 12, 1979, p. 13-36 ; « The use of water-power in classical Antiquity », *Opuscula romana*, 13, 1981, p. 91-104 ; *Exploitation of water-power of technological stagnation? A reappraisal of the productive forces in the Roman Empire*, Lund, 1984 ; « Archaeological evidence for early watermills. An interim report », *History of technology*, 10, 1985, p. 151-179 ; « Water-power and technical progress in classical antiquity », in : *Ancient Technology Symposium 1987*. Helsinki, p. 68-84 ; *Handbook of ancient water technology*. Leyden / Boston / Köln, Brill, 2000 ; « Sources of energy and exploitation of power », in Oleson J. P., *The Oxford handbook of engineering and technology in the Classical world*, Oxford U. press, 2008, p. 136-157.

21. Amouretti M.-C., *Le pain et l'huile dans la Grèce antique. Évolution des techniques agraires d'Hésiode à Théophraste*, Centre de Rech. d'Hist. Anc. de Besançon, vol. 67, 1986, p. 241 ; Amouretti M.-C., « La diffusion du moulin à eau dans l'antiquité, un problème mal posé », in De Réparaz A., *L'eau et les hommes en Méditerranée, Actes du colloque du G.I.S 1984*, Paris, CNRS, 1987, p. 13-23 ; « Barbegal, de l'histoire des fouilles à l'histoire des moulins », *Provence Historique, Autour de Paul-Albert Février*, 167-168, 1992, p. 135-150.

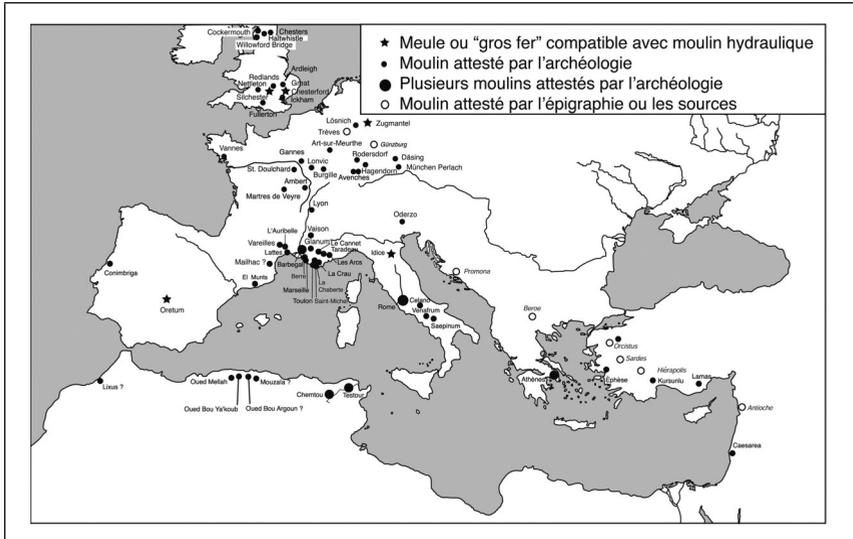


Figure 1 : Carte des moulins hydrauliques de l'Empire romain (dessin J.-P. Brun)

être soumise à la même critique que les textes. La logique voudrait qu'on trouve des moulins hydrauliques dans les grandes villes – Rome en fournit –, et dans les zones où cours d'eau, barrages et aqueducs sont nombreux, comme l'Italie ou la péninsule Ibérique. Or ces immenses régions en sont presque dépourvues (voir figure 1).

On trouve des moulins à eau là où les archéologues savent les reconnaître et les recherchent, c'est-à-dire en Grande-Bretagne, où l'intérêt remonte au début du XX^e siècle, en France, en Suisse et en Allemagne. Plutôt qu'un tour d'horizon qui détaillerait la situation par province romaine, il vaut mieux établir un tableau par pays moderne car les conditions de la recherche actuelle ont une énorme influence sur l'état de la documentation.

Les moulins sont jusqu'à présent sous-représentés dans le bassin oriental de la Méditerranée, l'Afrique du Nord, l'Italie et l'Espagne. En revanche, on commence à disposer d'une documentation utilisable pour la Gaule, la Germanie et la Bretagne. Ainsi, grâce à la multiplication de ces découvertes, nous sommes en mesure d'affirmer que presque toutes les *villae* du Haut-Empire de Narbonnaise au moins étaient équipées de moulins hydrauliques.

Pour le démontrer, j'ai présenté le cas de la commune de La Garde à l'est de Toulon. Sur son territoire, deux *villae* romaines sont connues. Celle de Saint-Michel et celle de La Chaberte, distantes de 2 km ; toutes deux sont dotées de moulins de même technologie, à la même époque, à la fin du I^{er} et au II^e siècle. De plus, j'ai la conviction que la *villa* romaine du Reganas, située à 2 km au nord de la Chaberte, était équipée elle aussi d'un moulin, alimenté par un aqueduc comme les deux autres. Cette affirmation, qui demandera à être étayée, est de grande portée, car elle ruine totalement la théorie du blocage des techniques et d'une utilisation limitée de la force hydraulique dans l'Antiquité. Pour compléter le tableau, il faut examiner si la force hydraulique a été aussi employée pour des usages artisanaux autres que la mouture des céréales.

4.4 Usages « industriels »

Les mines

Nous disposons de quelques attestations dans les textes : Pline décrit l'usage extraordinaire de l'énergie hydraulique dans le transport et le lavage des sédiments riches en minerai d'or en Espagne (*N. H.*, 33, 72). Désormais on dispose de données archéologiques convergentes montrant une utilisation multiforme mais encore mal connue et mal identifiée par les archéologues.

L'énergie hydraulique a été utilisée à l'époque impériale pour concentrer le minerai d'or et d'étain, pour déplacer d'énormes masses de terrains stériles, pour abattre des montagnes, mais aussi pour écraser le minerai, une des tâches les plus dures des travaux miniers. La mécanisation de ce travail fut donc une avancée significative pour la productivité. Dans certaines mines antiques de la péninsule Ibérique et de Bretagne, de gros blocs de pierre portent des traces répétées de pilons frappant au même endroit. Ce sont des enclumes sur lesquelles frappaient des pilons soulevés par un arbre à cames. Ces machines appelées « bocards » étaient mues par des roues hydrauliques. On en connaît dans les mines d'or de Dolocauthi dans le pays de Galles et dans celles de Tres Minas, Jales, Lagos de Silva, Pozos et Fresnedos dans la péninsule Ibérique.

Scieries hydrauliques

Des progrès ont récemment été réalisés dans l'étude des scieries hydrauliques. Longtemps, le sciage des pierres fut exécuté à la main, à l'aide de scies à cadre vertical, parfois de très grande taille et suspendues à des supports. L'utilisation de l'énergie hydraulique constitua donc un grand progrès qui explique peut-être la grande vogue des placages de marbre qui se répand au cours de l'Empire romain. Cette innovation est connue par deux textes du IV^e siècle, écrits par Ausone (*Mosella*, 359-364) et par Grégoire de Nysse (*In Ecclesiasten*, I II, 656A). Ces textes n'ont pas été vraiment appréciés à leur juste valeur jusqu'à ce qu'on découvre deux scieries hydrauliques à Éphèse et à Gerasa, ainsi qu'un extraordinaire bas-relief à Hiéropolis de Phrygie. Jusqu'alors, les chercheurs pensaient que la bielle et la manivelle avaient été inventées au cours du Moyen Âge, ce qui bloquait toute restitution réaliste des scieries antiques. Or cette idée préconçue a été éliminée par la découverte des vestiges de scieries et du bas-relief de Hiéropolis.

Ce dernier donne la clef de la reconstitution des scies : il montre que la bielle et la manivelle existaient dès le III^e siècle de notre ère au moins²². Ce bas-relief ornant le sarcophage de M. Aurelios Ammianos est daté de la seconde moitié du III^e siècle. Sous l'inscription qui rappelle qu'Ammianos était un homme ingénieux, on voit une grande roue verticale alimentée à l'épaule par un aqueduc.

22. Grewe K, Kessener P., « A stone relief of a water-powered stone saw at Hierapolis, Phrygia – a first consideration and reconstruction attempt », *Hierapolis di Frigia: Le attività della Missione Archeologica Italiana a Hierapolis, campagne 2000-2003. Atti del Convegno di Cavallino (Le), Convento dei Domenicani, Lecce 9-10 luglio 2004, Istanbul, 2006* ; « A Relief of a Water-powered Stone Saw Mill on a Sarcophagus at Hierapolis and its Implications », *Journal of Roman Archaeology*, 20, 2007, p. 138-163 ; « A stone relief of a water-powered stone saw at Hierapolis, Phrygia. A first consideration and reconstruction attempt », in Brun J.-P., Fiches J.-L. (éd.), *Énergie hydraulique et machines élévatoires d'eau dans l'Antiquité. Actes du colloque international du Pont du Gard, 20-22 sept. 2006*. Naples, Centre J. Bérard, 2007, p. 227-234.

La roue motrice entraîne un long axe moteur qui porte un rouet doté de dents. Ce rouet actionne une autre roue équipée de deux excentriques entraînant des barres de bois, des bielles, qui donnent un mouvement alternatif à deux scies coupant des blocs de pierre. Il est probable qu'une telle machine a demandé une mise au point longue et qu'Ammianos a été l'un de ces *mechanourgoi*, des constructeurs de machines qui devaient être assez nombreux en Orient et aussi en Occident. On en trouve mention dans des papyrus égyptiens et dans une inscription de Sardes datable des IV^e-VI^e siècles au nom d'Euchromios, constructeur de moulins hydrauliques. À l'autre extrémité de l'Empire, une fameuse inscription trouvée dans les Alyscamps à Arles et datée de la seconde moitié du II^e siècle-début du III^e siècle rappelle le nom de Q. Candidius Benignus, célébré comme un *faber tignuarius* très savant que « personne ne pouvait surpasser, lui qui savait construire des machines hydrauliques (*organa*) ou diriger le cours des eaux » (*CIL*, XII, 722).

On doit en effet imaginer tout un corps de ces constructeurs plus ou moins innovants si l'on pense à la diffusion étendue des moulins, des norias et maintenant des scies, qui demandent des engrenages et des systèmes de transmission complexes. Des individus isolés n'auraient pas pu réaliser ces machines : il faut une technologie acquise, assimilée et améliorée, ainsi que des élites détentrices de capitaux pour provoquer la demande. La demande était due notamment aux commandes publiques et aux travaux payés par des évergètes faisant construire des monuments revêtus de marbre, et répondant aussi aux besoins de riches particuliers embellissant leurs demeures.

Des vestiges de ces scieries commencent à être découverts. Dans le sanctuaire d'Artémis à Gerasa²³, l'installation hydraulique a été dégagée en 1926 et elle est restée exposée jusqu'en 2002 sans que personne ne comprenne sa fonction et, du point de vue de l'histoire des techniques, son importance considérable. C'est donc tout le mérite de Jacques Seigne, architecte et directeur de recherches au CNRS, que d'avoir interprété et reconstitué par le graphisme et *in situ* cette extraordinaire machine.

La roue motrice mise en mouvement par l'eau apportée par un aqueduc entraînait un arbre court auquel étaient fixés deux plateaux. Ceux-ci portaient des excentriques de métal de 8 cm de diamètre qui ont laissé des rainures concentriques à l'extérieur des blocs. Ces manivelles actionnaient des bielles en bois articulées avec des scies à quatre lames. La datation de l'installation est postérieure à l'abandon du sanctuaire d'Artémis et antérieure à la fin du VI^e siècle. Il est vraisemblable qu'elle a fonctionné durant le règne de Justinien, époque où la construction de huit églises et le réaménagement des thermes nécessitèrent de nombreux placages de marbre. La scierie aurait donc servi un demi-siècle environ et elle a été soigneusement démontée à la fin de son utilisation.

23. Seigne S., « Water-powered Stone Saws in Late Antiquity. First Step on the Way to Industrialisation? », *Cura Aquarum in Ephesus. Proceedings of the Twelfth International Congress on the History of Water Management and Hydraulic Engineering in the Mediterranean Region, Ephesus / Selçuk, Turkey, October 2-10, 2004. Bulletin Antieke Beschaving, Annual Papers on Mediterranean Archaeology*, Suppl. 12, 2006 (=Österreichisches Archäologisches Institut, *Sonderschriften Band 42*) (dir. G. Wiplinger), Leuven, 2006, p. 371-378.

À Éphèse, les fouilles autrichiennes ont mis au jour une machine assez semblable en 1983²⁴. Un aqueduc alimentait sept moulins dont six destinés à la mouture des céréales. Le canal alimentait une roue à l'épaule qui faisait tourner des manivelles actionnant les scies par l'intermédiaire de bielles. La construction de la machine est datée de la fin du VI^e-VII^e siècle par le mobilier trouvé sous les sols.

Jusqu'à présent, ces scieries ont été uniquement découvertes dans le centre de villes du bassin oriental de la Méditerranée qui étaient en cours de restructuration à la fin de l'Antiquité. Antérieurement, les scieries de marbre étaient situées à l'extérieur des villes, le long des rivières, comme le suggère le poème d'Ausone : l'eau fournissait l'énergie pour faire tourner les machines et permettait de livrer directement chez les marbriers les blocs importés de carrières lointaines. C'est donc sur les berges des cours d'eau qu'il faut chercher les dépôts de marbres et les vestiges des scieries plus anciennes. La très large utilisation de placages de marbre dans les monuments à partir des II^e et III^e siècles s'explique probablement par la mise au point et la diffusion de ces scies mécaniques entraînées par l'énergie hydraulique.

Les moulins à tan

Les moulins hydrauliques utilisés pour écraser l'écorce du chêne afin de produire du tan ne sont pas connus par les sources écrites antiques qui nous sont parvenues, mais l'archéologie permet de faire remonter leur usage à l'empire romain.

Les tanneries de l'époque romaine utilisaient divers agents chimiques : l'alun, employé pour les petites peaux souples dont on faisait des bourses par exemple, et surtout la noix de galle et l'écorce de chêne, qui sont riches en tanins végétaux servant à fabriquer des cuirs forts avec les peaux des gros animaux tels que les bovins. Ces cuirs sont utilisés pour la confection des chaussures, notamment des semelles. Dans la tannerie de Pompéi (dans la région I 5), à l'époque de l'éruption du Vésuve, on broyait l'écorce à la main dans un grand mortier qui a été retrouvé à côté d'une vaste salle abritant des cuves cylindriques, cuves dans lesquelles on procédait au tannage proprement dit.

Les tanneries antiques sont mal connues car rarement dégagées. Toutefois, une tannerie de la ville de Saepinum présente des particularités en rapport avec le sujet du cours. Située dans les montagnes de l'Apennin, au croisement de très anciennes voies utilisées pour la transhumance, l'agglomération de Saepinum devient un municipio après la guerre sociale, mais ne prend son aspect monumental qu'après que Tibère et Drusus eurent financé la construction des murailles et des portes entre 2 avant J.-C. et 4 après J.-C. À la même période sortent de terre les principaux monuments entourant le forum : la basilique, le marché, le capitole. La cité est occupée jusqu'au V^e siècle puisqu'un évêque y est attesté en 501 après J.-C. Il semble que la guerre gréco-gothique des années 535-553 ait causé l'abandon, au moins partiel, de la ville dont les monuments et les remparts ne sont plus entretenus depuis longtemps.

24. Mangartz F., « The byzantine stone cutting machine of Ephesos (Turkey). A preliminary report », in Brun J.-P., Fiches J.-L. (éd.), *Énergie hydraulique et machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité. Actes du colloque international du Pont du Gard, 20-22 sept. 2006*, Naples, Centre J. Bérard, 2007, p. 235-242.

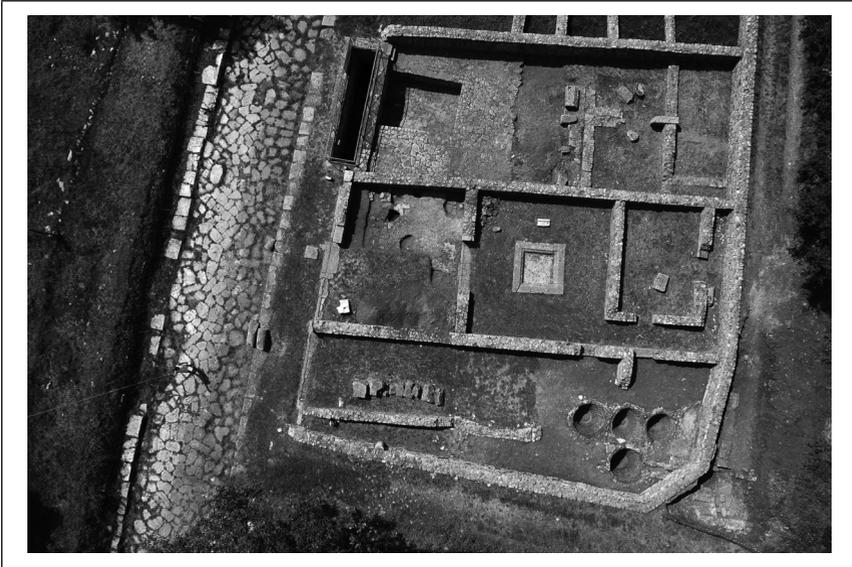


Figure 2 : Le moulin à eau de Saepinum (cliché J.-P. Brun)

Le forum a été dégagé entre 1952 et 1955, ainsi que deux maisons à atrium qui bordent le *decumanus maximus*. La maison située au sud comporte trois boutiques en façade (figure 2). Dans l'état final d'occupation, elle est divisée en deux : à l'ouest, se trouve un moulin hydraulique et à l'est au moins deux salles abritant un ensemble de cuves coniques interprétées comme des installations de tannage. On devait y tanner des peaux de moutons transhumants, dont le passage à Saepinum est bien documenté par une célèbre inscription qui donne le texte d'un rescrit de Marc Aurèle accordant le libre passage aux troupeaux.

À une époque qui n'est pas antérieure au milieu du III^e siècle, un moulin hydraulique a été construit. Les fouilles anciennes n'ayant conservé aucun mobilier provenant du moulin et les importants travaux de restauration effectués à la fin des années 1950 ayant détruit toutes les couches d'occupation, on ne connaît pas la durée d'utilisation du moulin. Toutefois, on peut estimer qu'il a fonctionné au moins 60 ans, et donc jusqu'au IV^e siècle, car l'étude des dépôts calcaires à l'intérieur de l'aqueduc qui l'alimente montre qu'au moins 60 lamines annuelles se sont déposées.

Le moulin est implanté dans une pièce de 6,50 m de largeur pour une longueur moyenne de 10 m (figure 3). L'axe de la roue traversait le mur nord du coursier par une ouverture carrée de 0,50 m de côté et aboutissait dans le puits d'engrenage. Ce dernier est limité par des murs intégralement reconstruits lors des restaurations. Le fond comporte au centre un dallage composé de huit *tegulae* retournées et entourées de dalles irrégulières de calcaire. Les tuiles présentent des traces d'impact en trois endroits, montrant qu'elles étaient soumises à des coups répétés.

Le puits d'engrenage est anormalement grand par rapport ceux des moulins à farine connus, comme ceux de Vareilles, de L'Auribelle, des Mesclans, etc. Il

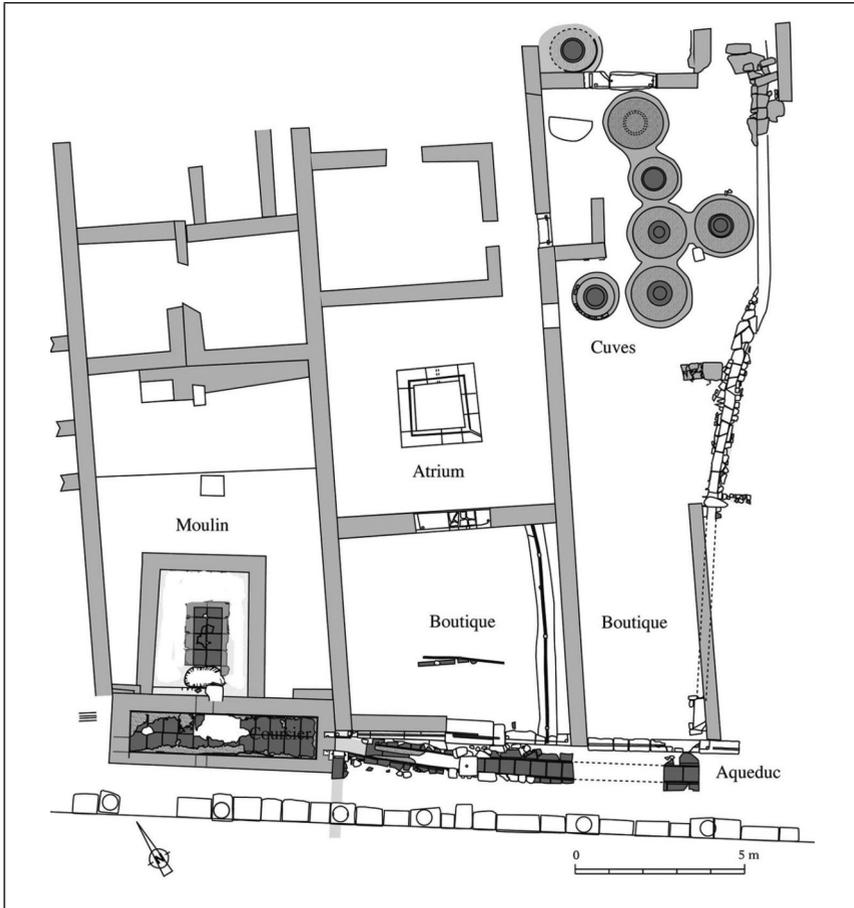


Figure 3 : Plan du moulin à eau de Saepinum (dessin J.-P. Brun)

mesure en effet $3,65 \text{ m} \times 2,70 \text{ m}$ soit près du double des autres et il présente un dallage qui n'a pas d'équivalent ailleurs. D'autre part, l'axe de la roue est situé à une trentaine de centimètres au-dessus du sol du puits d'engrenage, ce qui est insuffisant pour le coupler à un rouet.

Le niveau très bas de l'axe de la roue, l'existence d'un puits d'engrenage très vaste et les traces d'impacts sur les tuiles ne s'expliquent que si l'arbre était pourvu de cames soulevant des pilons, qui, en retombant dans des mortiers, ont provoqué les traces observées (figure 4).

Les moulins foulons

Le manque de toute indication textuelle, iconographique ou archéologique, l'existence de grandes fouleries où travaillaient de nombreux hommes comme à Ostie et à Rome (Casal Bertone), laissent penser qu'on n'a pas utilisé de moulins

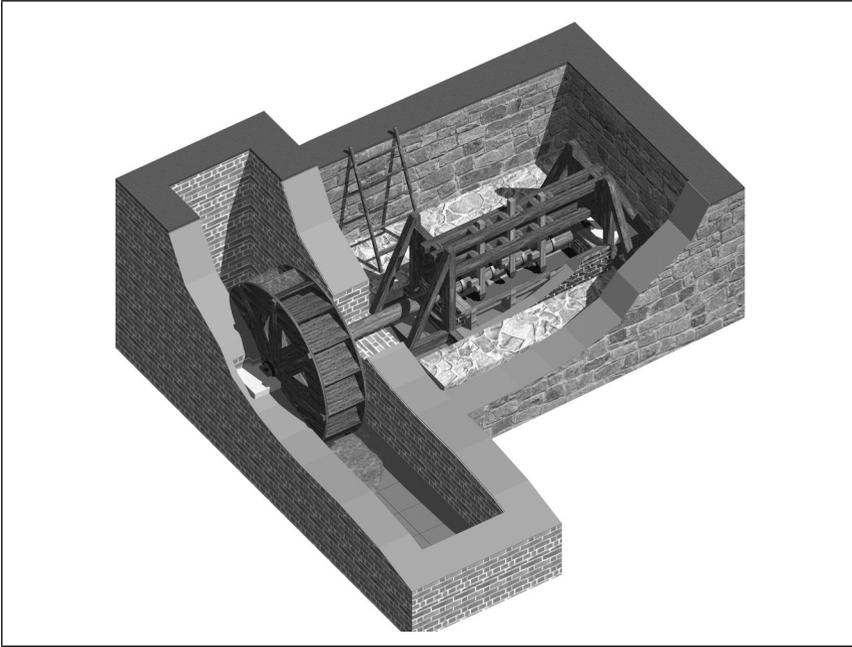


Figure 4 : Restitution du moulin à eau de Saepinum (dessin Sophie Girardot, architecte DPLG)

foulant dans l'Antiquité. Toutefois, comme ils existaient dès 962 dans les Abruzzes et dans la région de Milan au ^e siècle²⁵, il est possible que leur invention remonte à l'Antiquité. Mais il faut rappeler que d'éventuels moulins foulons ont peu de chances de laisser de traces, à moins que le bois ait été conservé. En effet, à l'époque médiévale et moderne, roues et battoirs étaient constitués uniquement de bois.

Les pilons à grain

Selon Michael Lewis, le passage de Pline indiquant que « la majeure partie de l'Italie utilise un pilon nu et aussi des roues que l'eau fait tourner » impliquerait l'existence de moulins à arbre à cames actionnant des pilons pour écraser les grains vêtus (*N. H.*, 18, 97). Ce serait à des machines de ce type que ferait allusion un passage de la vie de saint Romain dans lequel il est dit qu'entre 435 et 460, le diacre Sabinianus était chargé des *molinae* et *pisae* sur un cours d'eau.

Ce type d'installation étant réalisé principalement en bois et utilisant des cames pour soulever des pilons qui retombent par la force de la pesanteur, il sera aussi difficile à mettre en évidence que d'éventuels moulins foulons. On peut se demander si les moulins dans lesquels on n'a trouvé aucun fragment de meule, tels que ceux d'Art-sur-Meurthe et de Saint-Doulchard, n'actionnaient pas des pilons pour l'écrasement de céréales vêtues.

²⁵. Malanina P., *I piedi di legno. Una macchina alle origini dell'industria medievale*, Milano, 1988.

5. Lacunes et pistes de recherche

5.1. Les meules

Les lacunes de notre connaissance concernant la diffusion des moulins à eau sont dues à l'état variable des recherches selon les pays. Il faut donc multiplier les prospections et les fouilles de moulins que, désormais, les archéologues savent reconnaître et chercher, souvent en dehors des noyaux centraux des *villae*, sur une dérivation d'aqueduc ou sur un cours d'eau. Mais il convient surtout de recenser et d'étudier les meules déposées dans les musées. Ce travail a été engagé en Suisse, en France et en Grande-Bretagne. On peut citer les travaux de Timothy Anderson et Daniel Castella sur les meules de Suisse²⁶, la thèse récente de Samuel Longepierre sur les meules de Narbonnaise, les recherches en cours de Timothy Anderson en Espagne, et de Luc Jaccottey sur le Nord-Est de la France et la contribution d'Andrew Wilson pour la publication des moulins à eau d'Ickham²⁷.

Pour la Narbonnaise, la thèse de Samuel Longepierre offre un tableau d'ensemble couvrant une longue période, du II^e siècle avant J.-C. au VII^e siècle après J.-C.²⁸ Durant l'Empire romain, les grandes meules, d'un diamètre de 60 à 80 cm, constituent la moitié des meules (81 meules à main contre 87 grandes meules). Étant donné leur productivité nettement supérieure, cela signifie que les céréales étaient moulues principalement dans des moulins collectifs « à sang » et à eau. S. Longepierre constate qu'après le IV^e siècle de notre ère, la proportion des grandes meules baisse nettement et les familles semblent avoir à nouveau recours aux meules à main pour leurs besoins domestiques. Un exemple significatif est donné par les habitats réoccupant le théâtre romain d'Aix-en-Provence, à Notre-Dame de la Seds, au cours des V^e et VI^e siècles : ils ont livré six meules à main.

Dans une communication au colloque « Archéologie des moulins hydrauliques, à traction animale et à vent, des origines à l'époque médiévale » tenu à Lons-le-Saunier en novembre 2011, Luc Jaccottey a présenté une étude des meules du Nord-Est de la France. Sur 324 meules antiques recensées, il a identifié 46 meules de grand diamètre en Franche-Comté et 11 en Bourgogne. Elles sont souvent en basalte, quelquefois en granit ou en grès des Vosges. Les grandes meules se trouvent surtout dans les agglomérations, mais aussi sur des *villae*. Les datations s'échelonnent entre le I^{er} et le IV^e siècle avec un pic au II^e siècle. Une partie de ces meules provient de moulins hydrauliques, mais certaines devaient faire partie de moulins actionnés par des animaux, comme dans les *villae* de Brans et de Chauenne en Côte-d'Or. L'étude systématique des meules, souvent la seule partie conservée de moulins détruits, offre donc un grand potentiel.

26. Anderson T.J., Dorswald C., Villet D., « Meules à bras et meules "hydrauliques" en Suisse romaine : répartition et pétrographie », *Minaria Helvetica*, 24a, 2004, p. 3-16 ; Castella D., Anderson T.J., « Les meules du Musée Romain d'Avenches », *Pro Aventico*, 46, 2004, p. 115-169.

27. Wilson A., « Wooden mills and millraces : the development of a Northern European millwrighting tradition », in Bennett P., Riddler I., Sparey-Green Ch., *The Roman Watermills and Settlement at Ickham, Kent*, Canterbury, 2010 (*Archaeology of Canterbury New Series*, 5), p. 63-67 et fig. 26.

28. Longepierre S., *Meules, moulins et meulières en Gaule méridionale du II^e siècle avant J.-C. au VII^e siècle après J.-C.*, Montagnac, 2012.

5.2. Les moulins à roues horizontales et verticales

Une autre question concerne la sous-représentation des moulins à roue horizontale. En 1997, M. Lewis²⁹ a suggéré que le moulin à roue horizontale fut inventé en Orient durant la seconde moitié du III^e siècle avant J.-C. et que le moulin à roue verticale trouverait son origine à Alexandrie, peu après. Mais L.A. Moritz, A. Wilson et R. Spain soutiennent l'hypothèse inverse³⁰. Ils considèrent que la roue horizontale dérive de la roue verticale, étant une simplification du principe. C'était d'ailleurs déjà la position de Marc Bloch qui écrivait qu'« on peut se demander si [le moulin à roue horizontale] ne nous offre pas l'exemple d'une régression technique [...] : imiter l'emploi d'une force connue de tous, comme celle de l'eau, devait paraître plus aisé que de reproduire des agencements déjà complexes ».

Robert Spain a présenté en 2008 un modèle de développement en trois phases qui a été discuté lors du séminaire du 1^{er} juin 2012³¹.

- Première phase : apparition des moulins à roue verticale actionnée principalement par le poids de l'eau, donc alimentée par le haut.

- Deuxième phase : apparition des moulins mus par des roues verticales plus petites et plus rapides, actionnées par l'impulsion d'un courant d'eau.

- Troisième phase : développement des roues verticales et horizontales actionnées par un courant d'eau. Selon ce modèle, l'invention et l'utilisation du moulin à roue horizontale seraient postérieures au développement du moulin à roue verticale et notamment au développement des petites roues verticales associées à des coursiers destinés à accélérer la vitesse de l'eau.

L'archéologie permet-elle de trancher le débat ? La constatation que les moulins à roue verticale sont nettement plus représentés à l'époque antique que les moulins à roue horizontale semble donner raison aux tenants d'une antériorité des premiers. Ö. Wikander par exemple pense que la disproportion en faveur des roues verticales reflète la prédominance des moulins à roue verticale, plus complexes mais plus puissants³².

À mon avis, la documentation archéologique est encore insuffisante pour aboutir à une conclusion. Nous connaissons très mal les moulins antiques à roue horizontale. Comme ils sont plus simples, plus petits, que les moulins à roue verticale et qu'ils ont toutes chances d'avoir été utilisés surtout dans des zones rurales et dans des endroits isolés, ils sont difficilement détectables. La plupart d'entre eux devaient être en bois, installés sur de petits cours d'eau dans les collines ; leurs vestiges se limitent probablement à une ou deux meules enfouies dans les sédiments d'un torrent. La disproportion entre les deux catégories pourrait être liée en grande partie à la difficulté de les observer.

La situation au Moyen Âge est éclairante de ce point de vue. Les archives de Florence et de Pistoia montrent que les moulins à roue horizontale sont alors

29. Lewis M.J.T., *Millstone and hammer: the origins of water power*, Hull, 1997.

30. Moritz L.A., *Grain mills and flour in Classical Antiquity*, Oxford, Clarendon Press, 1958 ; Wilson A., *Machines, power and ancient economy*, *Journal of Roman Studies*, 92, 2002, p. 1-32.

31. Spain R., *The power and performance of Roman water-mills. Hydro-mechanical analysis of vertical-wheeled water-mills* Oxford, BAR (Int. Ser., 1786), 2008.

32. Wikander Ö., *Handbook of ancient water technology*. Leyden / Boston / Köln, Brill, 2000.

prédominants : 258 d'entre eux étaient en activité en 1350 dans les collines autour de Pistoia³³. Les recherches portant sur le Languedoc médiéval assurent que les moulins à roue horizontale sont principalement situés dans les zones de montagnes et de collines alors que les moulins à roue verticale sont établis dans les plaines à partir du XII^e siècle³⁴. Une telle situation a pu exister dans l'Antiquité.

Jusqu'à présent, les vestiges de moulins à roue horizontale ou à turbine sont très rarement observés. On ne connaît aucun moulin de ce type dans les Trois Gaules et la Germanie. En Narbonnaise, le plus ancien moulin est celui de la *villa* de Saint-Martin à Taradeau qui date de la seconde moitié du II^e siècle. De la même époque pourrait dater celui de la Croix-de-Fenouillé dans le Gard. Suivent, au IV^e siècle, les moulins à turbine d'Afrique, à Testour et Chemtou, puis au V^e siècle, le ou les moulins du Clos d'Anjouan situés au Cagnet des Maures et celui de la Calade à Fontvieille. L'installation de Taradeau montre une très grande technicité ; le moulin est déjà pourvu de caractéristiques avancées : un réservoir d'eau permettant d'utiliser le moulin en toutes circonstances et un système de tuyauterie amenant l'eau sous pression sur le pourtour de la roue. Il doit être l'aboutissement d'un processus de mise au point assez long dont il nous reste à trouver les étapes.

5.3. La chronologie des moulins en Gaule et Germanie

Pour la Gaule et la Germanie supérieure, la documentation est désormais moins indigente que sur le pourtour méditerranéen. Elle reste insuffisante pour brosser un tableau fiable, mais elle permet de formuler des hypothèses sur les grandes lignes de la chronologie et de poser des questions pour une recherche future.

I^{er} siècle

Les plus anciens moulins connus par l'archéologie ne sont pas situés en Narbonnaise, où on les attendrait, mais en Gaule interne, conquise depuis un demi-siècle à peine. Il s'agit des moulins d'Art-sur-Meurthe et de Saint-Doulchard près de Bourges. Le premier est une petite structure datée par dendrochronologie après 19 avant J.-C. et il est resté en usage durant la première moitié du I^{er} siècle. L'existence de pales implique qu'il s'agit d'une roue verticale. Ce sont aussi les pales de bois qui permettent d'identifier un moulin à Saint-Doulchard, près de Bourges, qui semble légèrement postérieur, un pieu étant daté par dendrochronologie après 11 de notre ère.

Il faut en fait attendre le milieu du I^{er} siècle pour déceler les premiers moulins sûrement identifiés de Narbonnaise : ceux de Vareilles, de la Garanne et, plus au nord, de Bourgoin-Jallieu. Dans les Trois Gaules et en Germanie supérieure, on dispose des moulins d'En Chaplix à Avenches, de Rodersdorf et de Vannes. Au total, deux moulins sont attestés dans la première moitié du I^{er} siècle et six dans la seconde moitié (voir figure 5).

33. Muendel J., « The Horizontal Mills of Medieval Pistoia », *Technology and Culture*, Vol. 15, No 2, Apr., 1974, p. 194-225.

34. Phalip B., « Le moulin à eau médiéval. Problème et apport de la documentation languedocienne. Bassins de l'Hérault, Orb et Vidourle », *Archéologie du Midi médiéval*, 1992, p. 63-96.

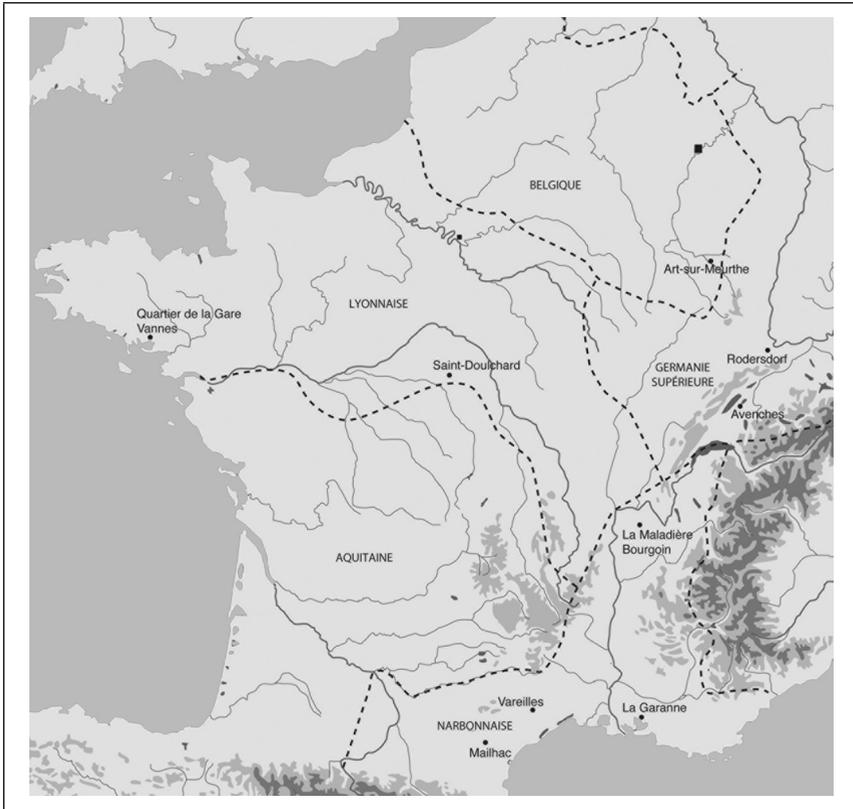


Figure 5 : Diffusion des moulins hydrauliques en Gaule et en Germanie au 1^{er} siècle après J.-C. (dessin J.-P. Brun)

II^e siècle

Le II^e siècle offre le plus grand nombre de cas : 18 moulins (voir figure 6). Sept sont datés de cette période dans les Trois Gaules et en Germanie : Lyon (rue du Docteur Horand), Les Tourbières à Avenches, Vichy, Martres-de-Veyre, Gannes, Löslich, et probablement Zugmantel. Onze moulins sont connus en Narbonnaise : Barbegal, L'Auribelle, La Garanne, Varelles, La Croix de Fenouillet, Les Laurons, Saint-Martin, Saint-Michel, La Chaberte et probablement Vaison-la-Romaine et Glanum.

Ce sont majoritairement des moulins à roue verticale et ils appartiennent à tous les types d'habitat, surtout des *villae*, mais aussi des agglomérations.

III^e siècle

Au III^e siècle, les attestations se raréfient (voir figure 6). Sept moulins sont connus : Vichy, Löslich, Lyon-Vaise, Barbegal continuent d'être utilisés et on en construit des nouveaux à Hagendorn, peut-être dans la *villa* Le Paquis à Champlitte

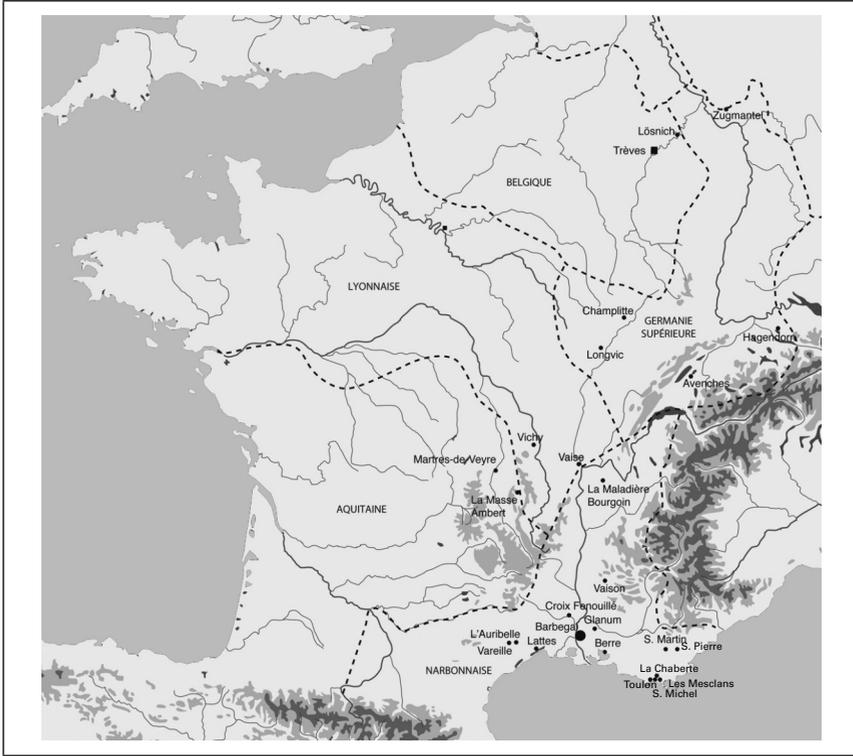


Figure 6 : Diffusion des moulins hydrauliques en Gaule et en Germanie aux II^e et III^e siècles après J.-C. (dessin J.-P. Brun)

en Haute Saône³⁵ et à Longvic près de Dijon ainsi que dans le port de Telo Martius (Toulon).

IV^e siècle

Le nombre des moulins hydrauliques connus stagne au IV^e siècle. À Barbegal, encore en activité au début du siècle, il faut ajouter le moulin de la *villa* de Burgille en Côte d'Or et, en Narbonnaise, les moulins à roue horizontale du Clos d'Anjouan au Cannet-des-Maures.

V^e siècle

Au V^e siècle, il est probable que les moulins du Cannet continuent de fonctionner et un autre moulin à roue horizontale est connu à La Calade du Castellet (Fontvieille). Il faut leur ajouter un probable moulin à Amiens, au lieu-dit L'Étouvie, en bordure de la Somme.

35. Hervé Cl., « Champlitte “Le Paquis” (70) » à paraître dans *Archéologie des moulins hydrauliques, à traction animale et à vent, des origines à l'époque médiévale*.

6. Conclusion

Malgré une documentation encore très insuffisante, on peut formuler quelques observations, principalement sur la Narbonnaise, les Trois Gaules, la Germanie supérieure et la Bretagne, où les découvertes sont les plus concentrées, et tracer quelques pistes de recherche. Les premières conclusions portent sur des points de méthodes, les secondes sur les techniques et les dernières sur les évolutions.

6.1. Aspects méthodologiques

Pièces de bois

Les plus anciens moulins hydrauliques ont été identifiés seulement parce que leurs parties en bois étaient conservées, notamment des éléments caractéristiques tels que des pales. Grâce à la dendrochronologie, ils ont pu être exactement datés. Ces caractéristiques désavantagent nettement les gisements situés sur le pourtour de la Méditerranée où le bois n'est que très rarement conservé. C'est la raison pour laquelle, en Narbonnaise ou en Italie, nous n'avons pas de moulin aussi ancien que celui d'Art-sur-Meurthe.

Dans ce sens, l'hypothèse d'un moulin daté de la fin de l'époque républicaine à Mailhac est particulièrement intéressante car, si elle se confirmait, cela signifierait que, dès l'origine, le moulin est conçu comme partie intégrante d'un système complet d'approvisionnement en eau, d'irrigation et de source énergétique qui sera classique au Moyen Âge³⁶.

Meules

Les études inventoriant les meules qui se multiplient depuis quelques années montrent que le nombre de meules compatibles avec des moulins hydrauliques est bien supérieur à celui des moulins effectivement repérés ou fouillés. Il convient donc d'équilibrer notre documentation sur les moulins en prenant en compte systématiquement les meules de grand format au même titre que les vestiges bâtis.

6.2. Techniques

Durée de vie des moulins

Les observations précises faites sur les moulins antiques d'Avenches et de Hagendorn indiquent que, comme les sources médiévales et modernes le mentionnent souvent, les moulins à eau demandaient un entretien permanent. À Hagendorn, durant un laps de temps de trente ans, la roue a été remplacée tous les dix ans. À Avenches, ce n'est pas seulement la roue qui a été changée mais l'emplacement du moulin de la *villa* de Russalet, qui a dû être déplacé au moins trois fois. En Narbonnaise, dans la *villa* de Vareilles (Hérault), Stéphane Mauné a décelé trois

36. Harfouche R., Sanchez C., Poupet P., « Aménagements hydrauliques et paysage rural de Narbonnaise à Mailhac (Aude) », *Gallia* 62, 2005, p. 119-130 ; Caucanas S., *Moulins et irrigation en Roussillon du IX^e au XV^e siècle*. Paris, CNRS, 1995 ; Durand A., « Les moulins carolingiens du Languedoc (fin VIII^e siècle-début XI^e siècle) », in Mousnier M. (dir.), *Moulins et meuniers dans les campagnes européennes (IX^e-XVIII^e siècles)*. Actes des XXI^e journées internationales d'histoire de l'Abbaye de Flaran, 1999, Toulouse, 2002, p. 31-52.

remaniements majeurs du moulin au cours d'un siècle et demi. Dans celle des Mesclans à La Crau (Var), le moulin présente au moins une modification : le rehaussement de l'axe de la roue, ce qui implique que, lors d'un changement de la roue, on a augmenté son diamètre.

Système d'entraînement des meules

Dans son étude des meules du nord-est de la France, Luc Jaccottey a examiné le système de fixation du gros fer sur la meule supérieure. Il constate que la fixation par quatre crampons domine dans les Trois Gaules et la Germanie supérieure durant le Haut-Empire. Cette fixation par crampons a été ensuite progressivement remplacée par le système à anille logée dans une mortaise sous la meule dans le courant du II^e siècle. Mais la fixation par crampons s'est maintenue dans certaines régions puisque le moulin de la *villa* de Burgille en Côte-d'Or en est encore équipé au IV^e siècle de notre ère.

La fixation par crampons est associée à des meules à forte conicité qui devaient tourner relativement lentement car le centrage n'était pas parfait et car la meule supérieure avait tendance à osciller en tournant. Le passage à l'entraînement par anille-barrette « par-dessous » permet un meilleur centrage et il s'est parfois accompagné d'une forte réduction de la conicité des meules. Certaines, comme celles du fort de Zugmantel, sont presque plates. Ce n'est plus la pesanteur qui fait descendre le grain entre les meules mais la force centrifuge qui les fait migrer vers les bords en les broyant. Un progrès majeur a donc été accompli durant le II^e siècle en Gaule : le passage aux engrenages à lanterne augmentant la vitesse de rotation, associé à des meules à faible conicité et à l'entraînement par une anille-barrette placée sous la meule. Il reste à préciser la chronologie de cette évolution et à examiner si cette amélioration provient d'Orient ou si elle est due au génie des constructeurs de moulins en Gaule.

6.3. Chronologie

L'origine des moulins

Les plus anciens moulins sont datés du I^{er} siècle de notre ère mais il n'y a pas de raison pour que, dans l'avenir, des moulins plus anciens ne soient découverts. Saint-Doulchard est proche d'Avaricum mais le moulin d'Art-sur-Meurthe est loin de toute ville : cela suggère d'une part que la technologie du moulin à eau était disponible dès les lendemains de la conquête et d'autre part qu'une diffusion aussi profonde dans l'intérieur des Gaules et de la Germanie supérieure doit être liée à l'exemple fourni par l'armée romaine, seule capable de transmettre aussi rapidement cette technologie d'origine orientale. L'association fréquente des moulins hydrauliques avec les forts du mur d'Hadrien, à Chesters, à Haltwhistle Burn Head et à Willowford, est une forte indication du rôle que joue l'armée dans la diffusion des techniques.

La diffusion des moulins

Les découvertes de moulins à eau de la fin du I^{er} siècle et du II^e siècle sont les plus nombreuses. Ce pic coïncide avec celui du maximum de l'occupation des villes et des campagnes en Gaule et Germanie, donc avec le plus haut niveau de la démographie. Cette proportion qui ne devrait guère changer avec les nouvelles

découvertes n'est pas surprenante car la technologie était alors bien au point. Comme cela paraît clair pour le département du Var où la documentation est un peu plus dense, à partir des Flaviens, toute *villa* de moyenne importance possédait un moulin hydraulique au même titre que des pressoirs à vin et à huile : le moulin à eau fait alors partie de l'équipement de base. C'est leur localisation périphérique par rapport au corps central des *villae* qui les rend malaisément détectables.

La diminution relative et absolue à la fin de l'Antiquité

La diminution apparente des découvertes de moulins à eau entre le III^e et le VI^e siècle peut être due à un manque de documentation. Toutefois elle semble refléter une diminution dans l'absolu car d'une part leur nombre est proportionnel à celui des habitats et de la population, et d'autre part, comme Samuel Longepierre vient de le montrer pour la Narbonnaise, on assiste à un retour de la mouture manuelle à partir du IV^e siècle. La conjugaison des deux phénomènes a dû entraîner une diminution du nombre des moulins hydrauliques et artisanaux actionnés par des animaux.

Un autre écho de ce phénomène est donné par le Polyptyque d'Irminon qui, au début du IX^e siècle, décrit les propriétés de l'abbaye de Saint-Germain-des-Prés. Seules 8 des 22 *villae* mentionnées possèdent un moulin hydraulique et on remarque que les redevances en farine dues par les paysans de la *villa* de Saint-Bertin impliquent que ce sont eux qui doivent moudre le grain dans leur maison et non livrer le grain au moulin collectif³⁷.

Le retour aux meules à main est parallèle à la fin de l'exploitation rationnelle des grandes meulières, comme celles du Massif central, et à l'apparition de petites carrières locales qui produisent des meules non standardisées à partir de divers matériaux. Ce phénomène doit être mis sur le compte de la désorganisation des circuits commerciaux, liée aux événements dramatiques du début du V^e siècle : les meuniers ne peuvent plus se fournir en bonnes meules auprès des grandes meulières et doivent donc se tourner vers des productions régionales ou locales, tirées de matériaux de moins bonne qualité et présentant une certaine variabilité dans les types et les dimensions.

Ainsi, pour la Gaule et la Germanie, l'archéologie tend à montrer une situation exactement opposée à celle que certains historiens avaient imaginée à partir des textes qui nous sont parvenus. Loin d'une augmentation relative et absolue de l'usage des moulins à eau durant l'Antiquité tardive, il semble qu'il y ait un net déclin de ces machines à partir du V^e siècle et un retour à des moutures traditionnelles. Toutefois, les moulins à eau ne disparaissent pas complètement : par exemple, les fouilles de la ville tardo-antique d'Ugium sur un plateau dominant l'Étang de Berre ont trouvé très peu de meules à main, ce qui signifie que le grain était moulu ailleurs, probablement dans des moulins hydrauliques situés dans la plaine³⁸.

37. Guérard B. (éd.), *Polyptyque de l'abbé Irminon de Saint-Germain-des-Prés, ou dénombrement des manses, des serfs et des revenus de l'abbaye de Saint-Germain-des-Prés sous le règne de Charlemagne*, t. 1 (Prolégomènes), t. 2 (Polyptyque), Paris, 1844, p. 633 ; Devroey J.-P., *Économie rurale et société dans l'Europe franque (VI^e-IX^e siècles)*, 1. *Fondements matériels, échanges et lien social*, Paris, Belin, 2003.

38. Amouric H., « Les meules de Saint-Blaise », in Demians d'Archimbaud G. (dir.), *L'occupation de l'antiquité tardive et du haut-moyen-âge à Saint-Blaise (Bouches-du-Rhône)*, Paris, MSH, 1994, p. 218 (Document d'archéologie française, 45).

Le développement de l'usage de l'énergie hydraulique et la technologie qui lui est liée connaissent donc un fort ralentissement durant la crise des V^e-VIII^e siècles qui, dans l'Empire d'Occident, voit un déclin de la population et de l'économie.

En Orient, au contraire, le maintien de la civilisation urbaine, l'essor démographique et la prospérité économique de l'empire de Byzance ont permis le maintien et le développement des technologies exploitant l'énergie hydraulique. L'archéologie montre à la fois sa large utilisation dans les moulins à grain, par exemple à Césarée de Palestine et à Éphèse, ainsi que le maintien, voire le perfectionnement de machines complexes comme les scies hydrauliques, illustrées par les exemples de Gerasa et d'Éphèse aux VI^e et VII^e siècles.

SÉMINAIRE

Le séminaire a porté sur des aspects précis de la problématique envisagée dans le cours, en invitant des spécialistes et en dialoguant avec eux, ou en présentant des fouilles archéologiques dans des universités étrangères.

Le professeur a présenté ses recherches archéologiques en cours dans deux séminaires à l'université d'Oxford sous les titres « Telo Martius portus and its water-mill » et « Water-mills in Gallia Narbonensis » et dans deux séminaires à l'université de Naples Federico II « Mulini ad acqua in Italia : gli scavi di Saepinum » et « Scavi di mulini ad acqua in Francia ».

À Paris, le séminaire du 11 mai 2012 a été consacré à la diffusion des différentes machines élévatrices d'eau à partir des découvertes archéologiques les plus récentes grâce à la présentation faite par le professeur Andrew Wilson de l'université d'Oxford.

Le séminaire du 1^{er} juin 2012 a porté d'une part sur l'étude technique de la puissance des moulins antiques grâce à un exposé de l'ingénieur et historien des techniques Robert Spain et d'autre part sur les types de meules utilisées dans les moulins hydrauliques du Nord-Est de la France, présentés par Luc Jaccottey, archéologue à l'Institut national des recherches archéologiques préventives (INRAP). Dans le séminaire du 22 juin 2012, on a abordé la question de l'utilisation de l'énergie hydraulique dans les mines d'or et d'étain, pour déplacer d'énormes masses de terrains stériles et pour abattre des montagnes. Les techniques employées et leur développement historique ont été présentés par Claude Domergue, professeur émérite à l'université de Toulouse et par l'ingénieur Jean-Louis Bordes.

ACTIVITÉS DE LA CHAIRE

Conférence sur « I profumi nella Campania antica », le 14 octobre 2011 à la Fête de la science de l'Institut français de Naples, Centre Jean Bérard.

Communication sur « Contacts et acculturations en Méditerranée occidentale », au colloque *Banquets rituels à Cumès au IV^e siècle avant J.-C.*, avec M. Leguilloux et P. Munzi, le 16 septembre 2011, Hyères.

Communication sur « Les moulins hydrauliques dans l'Antiquité », au colloque *Archéologie des moulins hydrauliques, à traction animale et à vent des origines à l'époque médiévale*, le 2 novembre 2011, à Lons-le-Saunier.

Conférence sur « la production des parfums dans la Méditerranée antique : les fouilles de Délos, Paestum et Pompéi » à l'Université de Bonn, Allemagne, le 26 juin 2012.

Campagne de fouilles sur le fort romain de Xéron (désert oriental d'Égypte) en collaboration avec Hélène Cuvigny, Adam Bulow-Jacobsen, Michel Reddé, Emmanuel Botte, Thomas Faucher et Bérangère Redon (janvier 2012).

Campagne d'étude sur les parfumeries de Pompéi en collaboration avec Albert Ribera y Lacombe et Macarena Bustamante (mai 2012).

PUBLICATIONS

Livres et articles

Brun J.-P., « La viticulture en Gaule tempérée », *Gallia* 60.1, 2011, p. 1-12.

Brun J.-P., « La produzione del vino in Magna Grecia e in Sicilia », dans *La vigna di Dionisio, Atti del 49° Convegno di Taranto 2009*, Istituto per la storia e l'archeologia della Magna Grecia, Tarante, 2011, p. 91-136.

Brun J.-P., Bülow-Jacobsen A., Cardon D., Cuvigny H. (éd.), Eristov H., Granger-Taylor H., Leguilloux M., Nowik W., Reddé M., Tengberg M., *Didymoi. Une garnison romaine dans le désert Oriental d'Égypte. I. Les fouilles et le matériel*, Le Caire, IFAO, 2011 (409 p.).

Brun J.-P., Munzi Pr., « Les travaux du Centre Jean Bérard au nord de l'enceinte urbaine et au sud de l'acropole », *Bulletin de la société française d'archéologie classique* XLI, 2009-2010, *Revue archéologique*, 51, 2011, p. 150-172.

Édition

Alfaro C., Brun J.-P., Borgard Ph., Pierobon R. (éd.), *Purpurae vestes III. Textiles y tintes en la ciutat Antigua*. Naples (coll. Archéologie de l'artisanat antique, 4) / Valencia, 2011, 286 p. [ISBN 978-84-370-7960-8]

Brun J.-P., Schnapp A., Segonds-Bauer M. (éds.), *L'histoire comme impératif ou la « volonté de comprendre »*, *Cahiers du Centre Jean Bérard* XXIII, Naples, 2011, 161 p. [ISBN 978-2-918887-08-9].

Poux M., Brun J.-P., Hervé M.-L. (éd.), *La vigne et le vin dans les Trois Gaules*, *Gallia*, 68.1, 2011.