



Machines et inventions : le mythe et la technique

*Actes de la journée scientifique
du XLIV^e congrès de l'APLAES*

édités par Frédéric Le Blay

Paris
[Annales de l'APLAES](#)
2015

Machines et inventions :
le mythe et la technique

ISSN 2271-4693

Ce livre électronique peut être consulté en ligne à l'adresse
<http://revues.aplaes.org>

Il est également catalogué par la Bibliothèque Nationale de France

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous
les pays.

© 2015 APLAES (Association des Professeurs de Langues anciennes de
l'Enseignement supérieur) <http://www.aplaes.org>

Siège social : École Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm, 75005 Paris

Mise en page par Robert Alessi, CNRS UMR 8167 « Orient & Méditerranée »

Introduction

Frédéric LE BLAY
Université de Nantes

En plaçant la journée scientifique du congrès 2011 de l'APLAES sous l'intitulé : « Machines et inventions : le mythe et la technique », les organisateurs et hôtes de cette rencontre ont souhaité rendre hommage à un thème qui est aujourd'hui fortement lié à l'image de la ville de Nantes, tant du point de vue de l'héritage qu'elle revendique que de celui de la modernité qu'elle cherche à incarner.

Du côté de l'héritage, on rencontre l'œuvre de Jules Verne, figure incontournable du patrimoine nantais. Mais si Nantes ne peut à elle seule revendiquer l'héritage vernien – elle le partage avec au moins une autre ville, Amiens, elle peut en revanche se targuer d'avoir su en conserver l'esprit et l'inspiration. La première journée du colloque avait lieu sur le site des anciens chantiers navals, lieu lui-même marqué du sceau de la technique, à proximité des désormais célèbres Machines de l'Île, qui perpétuent, pour le plus grand plaisir des visiteurs, l'esprit inventif et visionnaire de l'auteur de *Vingt mille lieues sous les mers*. Nombre des héros de ses œuvres auraient pu recevoir des anciens grecs l'épithète *polytropos* telle qu'ils attribuèrent à Ulysse. Les congressistes se souviendront avoir reçu, à mesure que les orateurs se succédaient, la visite d'un gigantesque éléphant mécanique chargé de passagers, dont les allers et venues sous les fenêtres de la salle de conférence apportaient une concurrence fort déloyale à Héron d'Alexandrie. Avoir toutefois sous les yeux une version ludique et non belliqueuse du cheval de Troie, devenu pachyderme, ou d'un automate que les Alexandrins auraient pu concevoir au service d'un fabuleux spectacle était un bel hommage rendu à tous les Dédales de l'histoire et de la littérature.

Le sujet des machines et des inventions, qui pourrait paraître en première lecture relégué aux marges les moins fréquentées de la littérature et des études antiques, s'avère, si l'on y regarde de plus près, d'une exceptionnelle richesse. Tout d'abord, les termes mêmes désignant cette notion (le grec *mêchanê* et son calque latin *machina*) ainsi que leurs dérivés occupent dans la littérature une place bien attestée et loin d'être négligeable. Les usages métaphoriques et les sens figurés ne manquent pas. Ils renvoient, la plupart du temps, à la ruse ou à la tromperie, avec une connotation négative qui fait souvent de la machine une sorte de produit douteux du *logos* ou de la *ratio*.

Le thème fait certes appel à une littérature technique longtemps délaissée que les études classiques ont redécouverte depuis quelques années. Machines et inventions relèvent en effet de l'histoire des sciences et des techniques. Les contributions présentées ici nous apprennent ou nous rappellent que l'ingénierie des Anciens avait atteint un degré de technicité et de précision que notre méconnaissance de la littérature, associée à la disparition des productions elles-mêmes, nous empêche d'apprécier à leur juste valeur. La lecture des descriptions d'automates par Héron d'Alexandrie peut laisser rêveur et dubitatif le lecteur contemporain, qui se demandera si les merveilles de l'industrie humaine qui lui sont présentées ont pu exister en dehors de l'imagination de l'auteur.

Yanis Bitzakis fut présent lors de cette rencontre pour faire état de l'extraordinaire découverte effectuée dans une épave au large de l'île d'Antikythère. Les restes de la machine astronomique exhumée des eaux de la Méditerranée, et dont les technologies modernes ont permis de restituer et la fonction et la conception, sont la preuve irréfutable de la maîtrise des ingénieurs et des savants. On savait, à travers la lecture des textes, le niveau théorique de la science grecque très avancé. Un artefact archéologique tel que la machine d'Antikythère apporte un éclairage plus concret sur les compétences des Anciens en matière de conception d'objets de précision dont la complexité intrigue encore les savants et les experts d'aujourd'hui. Il n'a pas été possible de reproduire ici la présentation richement illustrée proposée par M. Bitzakis mais nous renvoyons le lecteur aux nombreuses ressources en ligne produites par l'équipe d'archéologues et d'ingénieurs ayant œuvré à ce projet, en particulier son site officiel : <http://www.antikythera-mechanism.gr/fr>.

La contribution de Jean-Yves Guillaumin montre que le génie technique des ingénieurs ne visait pas, comme on pourrait s'y attendre *a priori*, la seule réponse à des besoins pratiques. L'automate, dont le lien avec la mythologie et la littérature est souvent étroit, constitue un objet d'émerveillement, une réalisation de prestige associée au luxe des cours hellénistiques. Il est toujours intéressant de constater que la science ne répond pas toujours à des fins utilitaires mais qu'elle peut rejoindre les finalités de la production artistique. On peut néanmoins estimer que derrière chaque prodige de technologie, destiné à amuser ou à forcer l'admiration, se cache la réponse de l'intelligence humaine à une question pratique.

Micheline Decorps commente un texte qui met en évidence l'étendue du domaine d'application de l'ingénierie grecque, susceptible de répondre à diffé-

rents domaines d'activité, des plus spéculatifs ou plus opérationnels. À la suite de Jean-Yves Guillaumin, elle rend hommage à un très grand savant alexandrin dont l'œuvre pose encore de nombreux problèmes d'interprétation.

L'article de Philippe Fleury nous renvoie à une technologie plus immédiate, mais non moins élaborée, destinée à satisfaire les besoins les plus vitaux. Les nombreuses questions que pose la reconstitution des machines et dispositifs mécaniques de l'Antiquité à partir des textes permettent de saisir que cette ingénierie n'est pas que la mise en œuvre d'un projet théorique mais avant tout le résultat des expériences et des tentatives accumulées, une somme d'expériences et d'essais dont les textes ne viennent donner que le produit fini.

Notre contribution montre enfin comment le lien entre nature et technique ne se résume pas exclusivement à l'imitation de la première par la seconde. La machine, production humaine, peut, dans certains cas, venir au secours de l'esprit pour percer les secrets de la nature qui, dans une relation analogique inversée, peut passer pour une gigantesque machinerie.

Au-delà de cette contribution à la connaissance de l'Antiquité, les organisateurs du congrès tiennent à remercier les enseignants et étudiants du département de Lettres anciennes de l'Université de Nantes, qui ont donné de leur temps pour faciliter l'accueil des congressistes, M. Gérard CHAIX, recteur de l'Académie de Nantes et chancelier des Universités, qui honora cette journée de sa présence, l'Université de Nantes, l'UFR des Lettres et Langages, le département de Lettres anciennes et l'équipe de recherche L'AMO (L'Antique, Le Moderne), pour leur soutien financier à l'organisation de ce congrès, et enfin, la Maison des Hommes et des Techniques de Nantes, pour nous avoir accueillis dans ses locaux des anciens chantiers navals.

Les automates dans l'Antiquité de la légende mythologique aux traités techniques

Jean-Yves GUILLAUMIN
Université de Franche-Comté

*En hommage à la mémoire de
Gilbert Argoud et d'Alain Segonds*

Le terme « automate »

L'adjectif αὐτόματος « qui agit de soi-même » est déjà utilisé dans l'*Iliade* à propos de personnes qui se déplacent de leur propre initiative¹ ou même à propos d'objets qui fonctionnent tout seuls². Ce terme est beaucoup employé par Aristote à propos de la « génération spontanée » dans le traité sur la *Génération des animaux*; il est utilisé aussi à propos de phénomènes naturels, comme des fleuves qui débordent, des plantes qui poussent; à propos d'événements qui se produisent sans l'intervention de personne, par accident ou par hasard.

Le second élément -ματος viendrait³ de la racine de μέμονα, μέμμεν, μένος. Ce serait *mn-to-, comme dans le latin *commentus* de *comminiscor* « imaginer », et *commentum* « chose imaginée », puis « plan » et « projet », et même « commentaire ».

Le grec moderne a encore αὐτόματον « automate », αὐτόματος « automatique », « spontané » (et l'adverbe αὐτομάτως, qu'employait déjà Aristote).

Les termes grecs sont passés en latin. On trouve dans le *De architectura* de Vitruve une forme *automatopoetus* (« qui se meut soi-même »)⁴ qui est la transcription latine du grec αὐτοματοποίησης. Le latin a gardé le sens de « spontané »

1. *Iliade* 2, 408 : αὐτόματος δὲ οἱ ἦλθε, « il (Ménélas) s'y (au sacrifice célébré par Agamemnon) rendit de lui-même » (alors que les autres chefs y ont été invités par Agamemnon).

2. *Iliade* 5, 749-751 et 8, 393-395; 18, 372-377; voir *infra*.

3. CHANTRAINE, P. (1968), *Dictionnaire étymologique de la langue grecque*, Paris : Klincksieck, (1999²), s. u. αὐτόματος.

4. Vitruve 9, 8, 4, à propos d'automates inventés par Ctésibios : *Item aquarum expressiones automatopoetasque machinas multaue deliciarum genera (...) explicuit*, « il utilisa aussi la pression de l'eau et développa des automates et plusieurs autres genres de machines divertissantes. »

et « volontaire » dans la transcription *automatus*⁵ de αὐτόματος. *Automatarius* « d'automate » est attesté par l'épigraphie⁶ et désigne, au neutre, un automate chez Ulpien⁷; on le voit repris dans la latinité contemporaine⁸. Mais l'automate est aussi désigné, comme en grec, par le neutre *automatum* ou *automaton* (gén. : *automati*), « automate, machine qui se meut soi-même » dans le *Satiricon*⁹ et chez Suétone¹⁰. Il existe une déesse qui règle à son gré les événements : c'est *Automatia*, c'est-à-dire Αὐτοματία, chez Cornelius Nepos¹¹ en latin et chez Plutarque¹² en grec.

En français, « automate » apparaît en 1532 chez Rabelais comme adjectif (du gr. αὐτόματος); le XVIII^e s. voit apparaître les trois mots « automatiser », « automatisme » (avant 1757, Réaumur) et « automatique » (fin du siècle). L'« automatisation » n'est que de 1867 (Larousse) et l'« automation » de 1956. Pour le Littré, l'automate est une « machine, et, en particulier, machine imitant les êtres animés, qui se meut par ressort ». Cette définition est restrictive; on verra que les automates ne sont pas tous à ressort.

Les automates dans la mythologie et dans l'histoire légendaire

Les automates occupent une certaine place dans la plus ancienne mythologie. Outre des trépieds à déplacement automatique¹³, l'Héphaïstos d'Homère avait fabriqué pour qu'elles l'assistent des servantes d'or « qui ont un esprit dans leur diaphragme » et auxquelles « les immortels ont appris à agir »¹⁴; bref, des sortes de robots intelligents. Il avait fait aussi deux chiens en métal précieux

5. Par exemple dans les *plausus automati* du *Satiricon* 50, 1.

6. CIL 6, 9394 : *Saturnino fabro automatario P. Domitius Maximus amico*.

7. *Digeste* 30, 1, 41, 11 : *Sed automataria aut si quis canthari, per quos aquae saliunt, poterunt legari, maxime si impositicii sint*.

8. *Biotula automataria siue Scooter (nomen Anglicum sicut scuter pronuntiatum) est uehiculum duabus rotis instructum, ui petroleica actum*, lit-on dans Wikipedia latin; voir aussi le *Lexicon recentis latinitatis*, où l'on apprend que OVNI = *res inexplicata uolans* et qu'un playboy est un *iuuenis uoluptarius*.

9. *Satiricon* 54, 4.

10. *Claude* 34 (il faisait combattre dans l'arène des machinistes quand un dispositif automatique n'avait pas marché comme il faut).

11. *Timoléon* 4, 4.

12. *Timoléon* 36, 6; cf. *De laude ipsius* 542E6; *Praecepta gerendae reipublicae* 816E5.

13. *Iliade* 18, 372-377.

14. *Iliade* 18, 417-420.

pour garder le palais d'Alkinoos¹⁵. L'*Iliade* mentionne à deux reprises l'ouverture automatique des portes de l'Olympe pour laisser passer le char d'Athéna¹⁶.

On comprend bien que les automates des dieux ont pour fonction de supprimer toute forme de πόνος dans un monde divin où règne la sérénité. Ils répondent donc à l'exigence du χρήσιμον (l'utile) en même temps et plus qu'à celle du θαυμαστόν (l'étonnant). On aimerait pouvoir les transférer dans le monde des hommes, où ils permettraient la suppression de l'esclavage, selon un passage de la *Politique* d'Aristote¹⁷.

Le dieu fabricant d'automates est évidemment Héphestos, parce que ce forgeron travaillait avec le feu et avec le souffle c'est-à-dire l'air, manifestant ainsi une relation privilégiée avec deux des quatre éléments et deux des principes vitaux. Son activité lui permettait donc de fabriquer des automates complexes. La diversité des matériaux utilisés, le rôle du feu et de l'air, seront aussi les caractéristiques de beaucoup d'automates héroniens.

Mais à côté d'Héphestos le dieu, Dédale le mortel est connu pour avoir lui aussi, d'après les traditions antiques, fabriqué des automates. On le voit, chez Philostrate¹⁸, travailler avec deux Éros qui manient la scie alternativement et sont visiblement des automates.

Ces deux antécédents mythiques ne sont pas les seuls que pourrait revendiquer la fabrication des automates, car il y a également des prédécesseurs historiques ou présentés comme tels. Canachos de Sicyone (près de Corinthe) avait fait un cerf, qui bondissait¹⁹; Archytas de Tarente avait fabriqué une colombe,

15. *Odyssée* 7, 91-94.

16. *Iliade* 5, 749-751 (et même texte en 8, 393-395). Le commentaire d'Eustathe (*Eustathii archiepiscopi Thessalonicensis commentarii ad Homeri Iliadem pertinentes* ed. M. van der Valk, vol. 2, Leyde, 1976, p. 193) explique que l'adjectif αὐτόματα veut dire que les portes manœuvrent « seules, d'elles-mêmes, sans gardien, comme si elles étaient conscientes, αἰσθητικάι » (Τὸ δὲ αὐτόματοι [sic] ἀντὶ τοῦ μόναι ἀφ' ἐαυτῶν διχα πυλωρῶν, ὡς ἔαν ἦσαν αἰσθητικάι).

17. *Pol.* 1, 2, 1253b33-1254a1 : Εἰ γὰρ ἡδύνατο ἕκαστον τῶν ὀργάνων κελυθὲν ἢ προαισθανόμενον ἀποτελεῖν τὸ αὐτοῦ ἔργον, καὶ ὡσπερ τὰ Δαιδάλου φασὶν ἢ τοὺς τοῦ Ἥφαιστου τρίποδας, οὓς φησὶν ὁ ποιητὴς αὐτομάτους θεῖον δύεσθαι ἀγῶνα, οὕτως αἱ κερκίδες ἐκέρκιζον αὐταὶ καὶ τὰ πληκτρα ἐκιθάριζεν, οὐδὲν ἂν ἔδει οὔτε τοῖς ἀρχιτέκτοσιν ὑπηρετῶν οὔτε τοῖς δεσπότηταις δούλων, « Si chaque instrument, en effet, pouvait, sur un ordre reçu, ou même deviné, travailler de lui-même, comme les statues de Dédale, ou les trépieds de Vulcain, 'qui se rendaient tout seuls, dit le poète, aux réunions des dieux'; si les navettes tissaient toutes seules; si le plectre jouait tout seul de la cithare, les entrepreneurs n'auraient pas besoin d'ouvriers ni les maîtres d'esclaves. »

18. Philostrate, *Galerie de tableaux* 1, 16, 3.

19. Pline, *HN* 34, 75.

qui volait²⁰ ; à Olympie, il y avait un dauphin, qui jaillissait vers le sol, et un aigle, qui s'élançait vers le ciel, quand le responsable des concours hippiques manipulait un système mécanique placé dans l'autel²¹ ; aux Grandes Dionysies de 308, Démétrios de Phalère produisit un escargot mécanique, qui bavait²².

La science des automates dans le cadre de la science antique

La science des automates, d'après les classifications antiques, relève de la mécanique. La mécanique, pour nous, consiste en la description, la construction et l'utilisation de machines, et en second lieu dans l'étude des causes qui permettent d'expliquer le fonctionnement de ces machines, et d'en améliorer l'efficacité.

La classification des sciences par Géminus²³ peut être considérée comme un modèle de référence parce qu'elle permet de situer l'idée que se fait de la construction des automates un contemporain (grec) de Vitruve, vers l'année 30 av. J.-C., un siècle à peu près avant les traités d'Héron.

Après avoir donné la classification pythagoricienne traditionnelle, Proclus dit qu'il y en a une autre, celle de Géminus : d'un côté les mathématiques dont l'objet est l'intelligible (arithmétique et géométrie), de l'autre les mathématiques dont l'objet est le sensible (six sciences : mécanique, astronomie, optique, géodésie, canonique et logistique). Dans la mécanique Géminus distingue trois subdivisions, l'organopoeïque (art de fabriquer les machines utiles à la guerre), la thaumatopoeïque (fabrication des automates) et la sphéropée (« qui permet de représenter les révolutions célestes »).

Géminus, à propos des automates, parle donc, pour cette subdivision de la mécanique, de θαυματοποιική « thaumatopoeïque » « qui imite les mouvements du vivant ». Employant ce terme, il insiste sur l'aspect extraordinaire et étonnant des réalisations de l'« automatopoeïque ». Héron, dans ses *Automates*, dira que « les anciens » appelaient « thaumaturge » le fabricant d'automates (ἐκάλουν δὲ οἱ παλαιοὶ τοὺς τὰ τοιαῦτα δημιουργοῦντας θαυματουργοὺς διὰ τὸ ἔκκληκτον τῆς θεωρίας)²⁴ ; dans cette phrase, on remarquera l'emploi

20. Aulu-Gelle 10, 12, 9-10.

21. Pausanias 6, 20, 10-12.

22. Polybe 12, 13, 11.

23. voir AUJAC, G. (1975), *Géminus. Introduction aux Phénomènes*, Paris : Collection des Universités de France, p. 114-117 : extrait de Proclus, in *Eucl.*, qui dit rapporter la doctrine de Géminus.

24. *Automates*, ch. 1, 8, ligne 1 SCHMIDT.

de l'adjectif ἔκπληκτος pour parler des effets produits sur les spectateurs par les automates, dans la formule τὸ ἔκπληκτον τῆς θεωρίας, qui apparaît une autre fois dans l'ouvrage²⁵ ; ailleurs²⁶, Héron utilise dans le même but l'adjectif ἐκπληκτικός.

La pneumatique et la construction d'automates partagent ces caractéristiques. La différence entre elles est que l'une (celle qui est appelée par Héron la construction d'automates) utilise des leviers, des poulies, des engrenages, des courroies, tandis que l'autre (celle qu'on appelle la pneumatique) utilise les gaz (compression et dilatation) et les fluides, et pratiquement parlant l'air et l'eau. Mais toutes deux sont les deux facettes d'une même technique, d'après les auteurs anciens comme Géminus et Pappus²⁷, car la θαυματοποιική utilise aussi bien, dit expressément Géminus²⁸, des procédés pneumatiques (διὰ πνευμάτων φιλοτεχνούσα) que des systèmes de poids (διὰ ῥοπῶν).

La science alexandrine, Héron et les automates

Héron, qui est bien « d'Alexandrie », n'a rien à voir avec l'Alexandrie de la bibliothèque et du Musée, institutions dont il ne subsiste rien à son époque. Il est d'époque « romaine » et non d'époque « alexandrine ». Il n'empêche qu'il se rattache explicitement à une tradition bien identifiée par lui et par nous, celle des ingénieurs alexandrins des Ptolémées.

La documentation qui nous est parvenue sur ces ingénieurs est incomplète, et même fragmentaire. Pour quatre siècles, il nous reste trois noms, et — en partie — deux œuvres : le nom de Ctésibios (durant le règne de Ptolémée II Philadelphe, 283-247), le nom et une partie de l'œuvre de Philon de Byzance (qui fut sans doute son élève ; auteur d'une *Méchanikê Suntaxis*, dont le livre V, *Pneumatica*, est entièrement conservé dans une version arabe), tous deux au III^e siècle avant J.-C., et le nom et une partie de l'œuvre d'Héron d'Alexandrie, dans la

25. En 1, 1 ligne 3 SCHMIDT.

26. *Pneumatiques* 1, préface, l. 16 SCHMIDT.

27. Dans l'introduction du livre VIII de sa *Collection mathématique*.

28. *Loc. cit.* : « ... l'art de fabriquer les automates qui, par l'usage astucieux de procédés pneumatiques, comme on en trouve dans les traités de Ctésibios et de Héron [c'est Proclus, au V^e s., qui ajoute au texte de Géminus cette mention d'Héron], ou d'un système de poids dans lequel le mouvement vient d'un défaut d'équilibre et l'immobilité de la réalisation de l'équilibre, comme c'est indiqué dans le *Timée*, ou tout simplement par l'usage de cordes et de fils, imitent les déplacements et la gesticulation des êtres animés » (trad. G. AUJAC, p. 116-117).

seconde moitié du I^{er} siècle après J.-C. ; les dates soulignent le maintien d'une certaine tradition, même s'il y a eu, vraisemblablement, solution de continuité.

La faveur que l'époque alexandrine a manifestée envers la « mécanique » s'explique par plusieurs raisons. Il y avait d'abord les encouragements des Ptolémées, sensibles à la gloire qu'ils pourraient tirer des prouesses techniques de leurs ingénieurs : les « grands travaux » n'ont pas été inventés par les présidents de la V^e République. Mais les mêmes rois étaient aussi soucieux d'applications, si l'on peut dire, plus immédiatement rentables, par exemple dans le domaine de la balistique et plus généralement de l'art de la guerre. Cette préoccupation se reflète dans les préfaces de nombreux traités techniques : construction de machines de guerre, fabrication d'appareils de visée pour déterminer de loin la hauteur d'une muraille et donc la dimension des échelles de siège, ou bien, s'il s'agissait de préparer l'établissement d'un pont, la largeur d'une rivière dans le cas où l'ennemi, sur la rive adverse, s'opposait au franchissement. On pouvait avoir aussi des préoccupations plus ludiques ou plus proches des détails de la vie quotidienne ; ce sont celles des *Automates* et des *Pneumatiques*.

À 250 ans de distance après ses deux prédécesseurs²⁹, donc, Héron d'Alexandrie occupe une place à part en raison du nombre et de la taille des œuvres qui lui sont attribuées et qui sont parvenues jusqu'à nous, et de leur diversité.

Si l'on ne sait rien de sa vie (il aurait d'abord été cordonnier), on a en revanche sous son nom une grande quantité de traités. Tous ne sont pas strictement techniques. Son ouvrage géométrique le plus important est incontestablement sa *Métrique* (les *Metrica*), en trois livres. D'autres œuvres de géométrie conservées sous le nom d'Héron ont sans doute un fondement héronien mais ne sont pas authentiques : ainsi les *Définitions*, les *Geometrica*, les *Stereometrica*, le *De mensuris*. Le traité sur la *Dioptre* (Περὶ διόπτρας), authentique, relève à la fois de la géométrie et de l'art de l'ingénieur ; Héron expose le mode de construction, le fonctionnement et les domaines d'utilisation d'un appareil de visée qui est très proche de notre théodolite mais que, malgré son perfection-

29. La datation la plus généralement admise aujourd'hui le place dans la seconde moitié du I^{er} siècle après J.-C. : en effet, Héron explique dans la *Dioptre*, ch. 35, comment calculer la distance entre Rome et Alexandrie en utilisant la même éclipse de lune depuis ces deux villes ; il précise que cette éclipse a eu lieu le dixième jour avant l'équinoxe de printemps et a débuté à Rome à la troisième heure de la nuit et à la cinquième heure à Alexandrie. Ces indications ne peuvent s'appliquer qu'à l'éclipse de lune du 13 mars 62 après J.-C. et à aucune autre éclipse entre le III^e siècle avant J.-C. et le III^e siècle après J.-C. Sauf à dire que ce ch. 35 n'est pas de lui, on a une indication chronologique importante, un *terminus a quo*.

nement, l'auteur n'utilise guère, en général, que pour tracer des alignements et des systèmes orthonormés, c'est-à-dire comme la fruste *groma* des arpenteurs romains. Comme μηχανικός, c'est-à-dire comme ingénieur, Héron est l'auteur d'un nombre important de traités parmi lesquels s'insèrent parfaitement les *Automates* et les *Pneumatiques*.

Les automates d'Héron d'Alexandrie : le traité *de automatis*

Les deux traités des *Automates* et des *Pneumatiques* ont été édités par W. Schmidt, avec une traduction allemande, à l'extrême fin du XIX^e s. Les deux traités, de fait, sont solidaires, car ils relèvent tous deux de la fabrication des automates.

Dans le traité des *Automates*, il s'agit de présenter des mécanismes de théâtre miniature, avec poids et contrepoids pour faire bouger des plates-formes et des personnages. Le traité se compose de deux parties différentes. La première partie³⁰ concerne les personnages automates « mobiles », ὑπάγοντα, et la deuxième ceux qui sont dits « fixes », στατά. Dans le premier cas, les automates fonctionnent sur un support mobile, qui se déplace grâce à des roues, devant les spectateurs qui restent assis autour du théâtre miniature. Héron commence son traité³¹ en insistant sur toutes les précautions qu'il faut prendre pour que l'affaire puisse fonctionner : un sol absolument plan et bien tassé, ou des planches (σανίδες) ; sur ces planches, des sortes de rails pour guider les roues installées sous le support du théâtre miniature et pour rendre plus assuré leur roulement ; utilisation de matériaux légers³² ; mettre de l'huile³³ ; utiliser des cordes absolument inextensibles et qui ne se rétractent pas³⁴, résultat que l'on peut obtenir par différents moyens (par exemple, laisser pendre assez longtemps une corde à laquelle est suspendu un poids). Le thème choisi par Héron pour son spectacle est celui du temple de Dionysos, avec des figurines de Bacchantes qui dansent. Cela donne une scène unique, celle de l'apothéose de Dionysos, dans laquelle les personnages, qui sont rangés autour du dieu, exécutent leurs mouvements à ciel ouvert.

30. Jusqu'au ch. 19 compris, p. 404-405 de l'édition SCHMIDT.

31. Ch. 2, p. 342 sq. SCHMIDT.

32. Avec cette justification : ἵνα μὴ διὰ τὸ βάρος δυσκίνητα γένηται (p. 342 l. 23-24).

33. P. 344 l. 6 : καὶ ἔλαιον δὲ παρεπιχέειν δεήσει εἰς ταῦτα.

34. P. 344 l. 9-12 : δεῖ δὲ καὶ τὰς σπάρτους... μῆτε ἐπέκτασιν μῆτε συστολὴν λαμβάνειν, ἀλλὰ τοιαύτως διαμένειν τοῖς μήκεσιν οἷαι καὶ ἐξ ἀρχῆς κατεστάθησαν.

Voici ma traduction de la description que donne Héron de ce spectacle³⁵ (le support à roues vient d'arriver automatiquement devant les spectateurs ; disons que cela fait penser à un très gros train électrique) : « À l'arrêt de la plate-forme, le feu s'allumera sur l'autel qui est devant Dionysos. Du thyrses de Dionysos il jaillira du lait ou de l'eau, tandis que de sa coupe il coulera du vin en direction de la panthère qui est en-dessous. Toute la partie de la base qui se trouve vers les quatre colonnes sera couronnée. Le cercle des Bacchantes dansera autour du temple. On entendra un bruit de tambourins et de cymbales. Ensuite, quand le bruit aura cessé, le personnage de Dionysos se détournera vers l'extérieur. En même temps que lui se tournera aussi la Victoire placée sur le temple. Sur l'autel, maintenant placé devant Dionysos alors qu'auparavant il était derrière lui, le feu s'allumera de nouveau. De nouveau, le liquide jaillira du thyrses, tandis que reprendra l'écoulement de la coupe. De nouveau les Bacchantes tourneront autour du temple en dansant au son des tambourins et des cymbales. Quand elles s'immobiliseront, le support automobile repartira vers l'endroit où il était au début. Ainsi s'achèvera la représentation. »

Pour la deuxième partie, consacrée aux automates « fixes » ou « à base fixe » (c'est-à-dire qu'il n'y a plus de déplacement sur un chariot), Héron a choisi comme fil directeur de son exposé la légende (μῦθος) de Nauplios³⁶, comme son prédécesseur Philon de Byzance, dit-il. On a donc affaire à un théâtre miniature qui met en scène une véritable tragédie. Le sujet est le retour des Grecs depuis Troie et la tempête qu'ils essuient sur les rives de l'Eubée. Plus exactement, les données (auxquelles fait allusion Euripide dans *Hélène* et qui faisaient le fond de plusieurs pièces perdues, une d'Eschyle, deux de Sophocle) étaient les suivantes. Nauplios, roi d'Eubée³⁷, dont le fils Palamède est mort pendant l'expédition grecque contre Troie, soit qu'il ait été tué par les Troyens, soit même que les Grecs l'aient tué, veut se venger. À la faveur d'une tempête, il allume des feux sur une falaise de l'Eubée, le cap Capharée, pour attirer la flotte des Grecs qui viendra faire naufrage contre les rochers. On retrouve cette histoire dans les *fabulae* d'Hygin et jusque chez les Mythographes Vaticans³⁸.

Telle est donc l'histoire que montre Héron sur son théâtre miniature d'automates. Il faut insister sur « miniature » : certains éléments du texte en té-

35. P. 352 l. 8 sq. SCHMIDT.

36. *Automates* 20, 2, p. 404 l. 15 SCHMIDT.

37. Ce n'est pas le même que celui de Nauplie, qui est fils de Poséidon ; mais ils sont parfois confondus.

38. 1, 141 et 2, 229, d'après Servius, *ad Aen.* 2, 260.

moignent concrètement, comme les dimensions de la base qui était précédemment décrite³⁹ dans la première partie, pour des automates « mobiles » à support sur roues : il fallait une base de 1 coudée de long (une coudée vaut deux pieds, donc ici la longueur est de 60 cm à peu près), avec une largeur de 4 paumes⁴⁰ (environ 30 cm) et une hauteur de 3 (à peu près 22 cm), les quatre colonnes fixées sur cette base ayant chacune une hauteur de huit paumes (60 cm).

Quant aux tableaux que retient Héron pour cette histoire, dans la deuxième partie des *Automates*, ce sont les suivants :

1. chantier naval des Grecs ;
2. mise à l'eau des bateaux par les Grecs ;
3. navigation des Grecs, 1^e partie de ce qu'on a pu appeler « acte III », et dauphins bondissant dans la mer, 2^e partie de ce 3^e acte ;
4. les signaux de Nauplios ;
5. le naufrage des Grecs. Ajax, l'un des chefs grecs, à la mer (V^e acte, 1^e partie) ; Ajax ; foudroyé et disparaissant dans la mer (2^e partie).

On peut se demander pourquoi Héron a choisi l'histoire de Nauplios plutôt que n'importe quelle autre légende pour illustrer ses constructions d'automates *στατά*. Il est vrai que cette histoire avait servi de support aux exposés de son prédécesseur Philon. À côté de sa célébrité puisqu'elle avait été traitée par plusieurs poètes grecs dans des pièces perdues⁴¹, il y avait peut-être une autre raison. Néron avait chanté la légende de Nauplios, pendant son voyage en Grèce en 67. On lit chez Suétone : « Un jour, en le voyant passer, Isidore le Cynique lui avait reproché publiquement, à haute voix, de chanter les malheurs de Nauplios et de mal administrer ses propres biens »⁴². Or, il n'est pas impossible de voir en notre ingénieur quelqu'un d'important au sein du groupe d'ingénieurs, d'origine alexandrine, que Néron a beaucoup fait travailler sur des projets divers et qui ont même pu accompagner l'empereur dans ce voyage en Grèce pendant lequel l'on entreprit le percement d'un canal à travers l'Isthme de Corinthe⁴³.

39. Au début du ch. 3 (p. 350 l. 1 sq. SCHMIDT).

40. La *παλαιστή* ou *παλαστή*, « paume » = quatre doigts = un quart de pied ; la largeur est donc ici de 30 cm à peu près.

41. Eschyle avait traité de ce héros ; Sophocle avait donné une *Navigation de Nauplios*, *Ναύπλιος καταπλέων*, et un *Ναύπλιος πυρκαεύς*, *Nauplios allume le feu* ; d'autres auteurs aussi, comme Phrynichos.

42. Suétone, *Néron* 39.

43. Voir RAÏOS, D. (2000).

Il y a donc une dimension « littéraire » dans les *Automates*, il y a peut-être une dimension « politique » ou en tout cas contemporaine, et il y a aussi une dimension mathématique, que l'on ressent dans l'emploi de mots comme « le problème », « la question »⁴⁴. Le domaine de la construction des automates est donc bien concerné par la mathématisation typiquement grecque, même si c'est de manière marginale. Cette même caractéristique est perceptible dans la forme canonique de problème adoptée pour les expériences et constructions des *Pneumatiques*.

Les automates d'Héron d'Alexandrie : les *Pneumatiques*

Dans les *Pneumatiques*, qui sont aussi un traité d'automates, les buts revendiqués (dès la préface, comme le fait souvent Héron) sont de plusieurs sortes. Il s'agit d'abord de divertir et d'étonner, Héron se référant alors au $\theta\alpha\tilde{\upsilon}\mu\alpha$. Il s'agit aussi de donner une démonstration visible et concrète de différentes choses : par exemple, la dilatation du gaz ($\pi\nu\epsilon\tilde{\upsilon}\mu\alpha$) sous l'action de la chaleur, et la force de la réaction qu'il produit sur la paroi opposée à un orifice d'échappement : dans ce cas, c'est l'éolipyle⁴⁵ de 2, 11 qui fait démonstration — tourniquet à vapeur, ou à air chaud. Dans cette véritable machine à vapeur, la seule de l'Antiquité, des tubes latéraux sont solidaires d'une boule qui tourne selon l'action de la vapeur. Les appareils peuvent enfin avoir un but utilitaire ($\chi\rho\eta\sigma\iota\mu\omicron\nu$); c'est par exemple le cas de la pompe à incendie⁴⁶, demeurée célèbre, ou de la seringue pour aspirer le pus et qui sert aussi à des injections⁴⁷.

Pourtant, le propos des *Pneumatiques* ne se restreint pas à la mécanique en général et à la fabrication d'appareils automates en particulier. Ainsi, la préface, très longue, est un bon exemple de l'insertion de discussions de philosophie naturelle — ce que les Grecs appelaient « physique » — sur l'existence ou non du vide, sur la compressibilité ou non de l'air ou du feu, etc. : le « mécanicien » se fait « physicien ».

44. *Automates* 21, 1, p. 410 l. 10 SCHMIDT : τὸ δὲ πρόβλημα ἐστὶ... ; 21, 2, p. 410 l. 20 : ἡ μὲν οὖν ὑπόθεσις τοιαύτη.

45. Non pas « éolipyle » à quoi on voudrait donner la signification de « Porte d'Éole » avec le grec πύλη; le mot n'est pas chez Héron; il vient de Vitruve 1, 6, 2, *Aeoli pila*, « boule d'Éole », car chez Vitruve il y a effectivement une tête d'Éole.

46. *Pneumatiques* 1, 28; invention rapportée à Ctésibios, décrite par Philon, Vitruve, puis Héron.

47. *Pneumatiques* 2, 18.

Quels exemples peut-on donner de préférence parmi tous les appareils « automates » que décrivent les *Pneumatiques*? Les plus connus paraissent être l'ouverture automatique des portes d'un temple (miniature, naturellement) quand un feu est allumé sur l'autel; le distributeur d'eau lustrale; l'appareil qui distribue du vin quand on le remplit d'eau (qui relève du θαυμαστόν); l'orgue « hydraulique », précédé de cent ans par celui de Vitruve, mais qui fut peut-être celui qui occupa les derniers jours de règne de Néron selon Suétone⁴⁸; la pompe de Ctésibios (qui relève du χρήσιμον).

De façon plus générale, il faut dire que dans les *Pneumatiques*, les appareils qui se définissent le mieux comme automates ne sont même pas regroupés. Ce sont, au livre I, les appareils 12 15 16 17 21 29 30 31 37 38 39 41; en II, les 3 4 5 10 15 21 32 34 35 36 37.

I 16 est le plus achevé : l'eau d'une vasque alimentée par une source coule dans un piédestal creux, cependant que des oiseaux posés au bord de la vasque chantent jusqu'à ce que le piédestal soit plein. Un siphon vide alors ce piédestal dans un seau, suspendu à une corde avec poulie et contrepoids, qui descend en faisant tourner le perchoir d'une chouette. Quand le seau est plein, il amorce un siphon qui le vide à son tour. La chouette reprend ensuite sa position et les oiseaux leur chant.

I 21 permet de faire une libation en jetant une pièce de monnaie dans le col d'un vase (elle tombe à l'intérieur sur un petit plateau). C'est l'ancêtre de nos distributeurs de boissons. Il fait appel à une soupape-robinet dont l'étanchéité suppose la maîtrise du polissage des métaux.

I 38 décrit l'automatisation d'un temple miniature dont les portes s'ouvrent « toutes seules », αὐτομάτως, au moment d'un sacrifice, puis se referment. Sa mise en œuvre combine les effets de dilatation thermique de l'air, de siphon, de vases communicants — et une machinerie de poulies, axes et contrepoids. Ce mouvement est présenté par Honoré d'Urfé dans la quatrième partie de *L'Astrée*⁴⁹.

Mais, avec des personnages, on ne peut ignorer I 12 : « Quand on brûle des parfums sur certains autels, les personnages placés sur les côtés font une libation », ce qui rappelle les procédés des *Automates* avec des personnages minia-

48. Néron 41, « orgue d'un nouveau genre ».

49. Le texte (H. D'URFÉ, *L'Astrée*, 4^e partie, 1627, éd. H. VAGANAY, Lyon, Masson, 1925, repr. Slatkin Reprints, vol. 4, p. 27-29) est reproduit p. 110 sq. (n. 73) de la traduction commentée des *Pneumatiques* par G. ARGOUËT et J.-Y. GUILLAUMIN, Publications de l'Université de Saint-Étienne, 1997.

tures; la différence est qu'ici le système fonctionne à la vapeur, non pas avec des poids et des cordes comme dans les *Automates*.

Parmi ces appareils, certains ont eu un grand succès en des époques postérieures et ce succès est attesté par des œuvres littéraires françaises. On vient d'évoquer le cas de l'appareil I, 38 qui se retrouve dans *L'Astrée*. Un autre exemple est sans doute plus connu, c'est celui de la fontaine d'Héron, que Rousseau emporta avec lui dans ses premières errances⁵⁰. De fait, le XVII^e siècle avait été l'âge d'or des automates, car de nombreux commentateurs d'Héron sont des correspondants ou des inspirateurs de Descartes (avec ses animaux « machines », sortes d'automates) et de Leibniz, Kircher, Schott, Mersenne. Mais le XVIII^e siècle mêle la fabrication d'automates avec l'élaboration d'une philosophie moderne qui ira, avec Leibniz, jusqu'au mécanisme universel⁵¹. En 1738, Jacques de Vaucanson exposa à Paris un canard mécanique qui faisait tout, même des crottes. C'est dans ce contexte, donc, que Jean-Jacques Rousseau part avec l'idée de montrer ce procédé pour épater les villageois et gagner un peu d'argent.

Automates, Pneumatiques et modèle euclidien

La classification des sciences par Géminus, qui se ramène à une division de la mathématique, insiste *ipso facto* sur le fait que la construction d'automates, ou fabrication de θαύματα, est une partie de la mathématique. Cela est conforté par le mode d'écriture des traités d'automates d'Héron.

Tous les points importants des dispositifs décrits, ainsi que les segments comme des pistons, des tiges, des tubes, sont désignés par des lettres exactement comme le sont les points et les segments dans la géométrie grecque.

On notera aussi la formulation initiale, « soit telle ou telle chose », avec ἔστω ou γεγονέτω, réitérée dans la plupart des énoncés⁵²; quand il s'agit d'une sphère comme en 1, 10, la ressemblance avec un texte géométrique est encore plus frappante : Ἐστω σφαῖρα...

50. Voir J.-J. ROUSSEAU, *Confessions*, livre III.

51. Voir GODIER, R.-M. (2005).

52. Voir par exemple, dans les *Pneumatiques*, le début de 1, 1 : Ἐστω γὰρ καμπύλος σίφων ὁ ΑΒΓ..., « Soit en effet un siphon courbe ΑΒΓ... »; ou celui de 1, 2 : Γεγονέτω γὰρ σίφων..., « Soit en effet un siphon... », avec l'emploi de l'impératif parfait.

Il y a encore la construction de l'appareil, évoquée comme si l'on parlait de la construction d'une figure géométrique⁵³. Car la « construction », κατασκευή, est l'une des six étapes canoniques de la résolution d'un problème de géométrie telles qu'elles sont énumérées par Proclus : πρότασις, ἔκθεσις, διορισμός, κατασκευή, ἀπόδειξις, συμπέρασμα⁵⁴.

Il faut relever également⁵⁵ le recours à la démonstration par l'absurde (qui conclut en faveur d'une hypothèse en éliminant toutes les autres), avec l'expression ὄπερ ἄτοπον, méthode et énoncé d'origine dialectique qui sont typiques des textes de géométrie.

Il y a encore d'autres types d'énoncés qu'on lirait tout aussi bien dans un ouvrage de géométrie, comme celui qui figure dans les *Automates* pour donner le fondement mathématique du déplacement circulaire du support roulant dont il est question depuis le ch. 7. Cet énoncé⁵⁶ paraît propre à Héron. Il atteste de la maîtrise avec laquelle l'auteur peut « géométriser » les énoncés relatifs à sa construction des automates⁵⁷.

Conclusion

Le μηχανικός de l'Antiquité, et spécialement le créateur d'automates dont Héron est un bon représentant, n'est pas un tâcheron besogneux. C'est un personnage cultivé en toutes les sciences, dont il sait faire converger les données dans les sujets qu'il aborde, particulièrement dans la construction des automates.

53. Voir par exemple *Pneum.* 1, 9 puis 1, 10 : Ἔστι δὲ ἡ κατασκευή τοιαύτη.

54. Proclus, in *Eucl.* p. 203 l. 1 sq. FRIEDLEIN.

55. Par exemple à la fin de *Pneum.* 1, 2 : ἴση ἄρα ἡ ΒΗ ἐκατέρᾳ τῶν ΗΖ, ΗΑ, ὄπερ ἄτοπον ἡρεμήσει ἄρα, « La droite BH est donc égale à chacune des droites HZ et HA ; ce qui est absurde. Le liquide sera donc en équilibre ».

56. *Automates* 8, 1, p. 364 l. 8-11 SCHMIDT : Ἐὰν γὰρ κῶνος κυλίνεται κατὰ ἐπιπέδου, ἡ μὲν βᾶσις αὐτοῦ γράφει κύκλον οὗ ἡ ἐκ τοῦ κέντρου ἴση ἐστὶ τῇ τοῦ κώνου πλευρᾷ, ἡ δὲ κορυφή αὐτοῦ μένει ἀκίνητος κέντρον οὕσα τοῦ εἰρημένου κύκλου, « Si un cône roule sur un plan, sa base décrit un cercle dont le rayon est égal au côté du cône, et son sommet, en tant que centre du cercle en question, demeure immobile ».

57. On ne doit pas s'étonner de cette « mathématisation » de la construction d'automates et d'appareils pneumatiques. Cette tendance à la mathématisation s'est manifestée en effet jusque dans le domaine de la théologie. Il a existé des *Éléments de Théologie* écrits par Proclus vers 480 après J.-C. ; c'est le premier traité de théologie/philosophie exposé selon la méthode euclidienne, c'est-à-dire à partir de théorèmes dont l'énoncé est suivi de la démonstration. Cette méthode d'exposition scientifique influencera Alain de Lille (XII^e s., mort en 1202 à Cîteaux) et plus tard Spinoza.

Il a aussi une solide formation littéraire qu'il utilise dans les développements très travaillés de ses préfaces. Il manie aussi bien le grec littéraire que la langue technique et mathématique d'essence et de saveur euclidienne.

Son influence se mesure à l'intérêt et aux imitations ou perfectionnements qu'il n'a cessé de susciter, surtout depuis la Renaissance, particulièrement au XVII^e s. et au XVIII^e s.⁵⁸ Ce rayonnement parmi la postérité n'est que le prolongement d'un rayonnement intellectuel et technique qui dut être grand en son époque. Ici encore, le cas individuel d'Héron d'Alexandrie est emblématique. Ce personnage fut vraisemblablement l'un des plus importants parmi les ingénieurs alexandrins que sollicita Néron. Son activité s'inscrivait parfaitement dans les préoccupations d'une époque dans laquelle le goût pour la fabrication d'objets étonnants relevant de la science des automates, qui devait se prolonger dans les décennies suivantes pour lesquelles il est attesté par les textes (ainsi le *Satiricon*), est confirmé par l'archéologie la plus récente. On pense avoir découvert en septembre 2009 la *cenatio rotunda* au Palatin, dans la Maison d'Or de Néron : c'est un automate des années 65, tout à fait emblématique de cette passion du monde gréco-romain, héritier sur ce point d'un savoir bien plus ancien, celui de Ctésibios au III^e s., de Philon à sa suite, de Vitruve au I^{er}. Développant sa maîtrise des automates, l'homme antique développait aussi et affirmait sa maîtrise du monde et des éléments de la nature. Il forçait à son service l'air, les gaz, les liquides et les poids. Sous les apparences du θαυμαστόν, c'est bien le χρήσιμον qui faisait l'objet de ses recherches. C'est pourquoi il faut rejeter l'image toute faite de mécaniciens antiques éprouvant au fond un secret mépris pour leurs inventions considérées par eux-mêmes comme purement divertissantes et en tout cas inutiles et indignes de la science, et les inscrire au contraire dans la vaste perspective des progrès fondamentaux de l'intelligence humaine.

Bibliographie

Textes

Heronis Alexandrini opera quae supersunt omnia vol. 1, *Pneumatica et Automata*, éd. SCHMIDT, W., Leipzig, 1899.

58. Il en a été question dans un colloque récent (Grenoble, 19-21 mars 2009) centré sur Vaucresson et intitulé *L'Automate. Modèle, machine, merveille*.

Les Pneumatiques d'Héron d'Alexandrie, introduction, traduction et notes par ARGOUD, G. et GUILLAUMIN, J.-Y., *Mémoires XV* du Centre Jean-Palmerne, Publications de l'Université de Saint-Étienne, 1997.

Études

CHAPUIS, A. (1949), *Les Automates. Figures artificielles d'hommes et d'animaux. Histoire et Technique*, Neuchâtel.

GILES, B. (1980), *Les Mécaniciens grecs. La naissance de la technologie*, Paris.

GODIER, R.-M. (2005), *L'automate et le cinéma dans La Règle du Jeu de Jean Renoir, Le Limier de Joseph L. Mankiewicz, Pickpocket de Robert Bresson*, Paris.

MARCINKOWSKI, A., et WILGAUX, J. (2004), « Automates et créatures artificielles d'Héphaïstos : entre science et fiction », *Techniques et culture* 43-44 (en ligne).

RAÏOS, D. (2000), « La date de Héron d'Alexandrie », dans ARGOUD, G. et GUILLAUMIN, J.-Y., *Autour de la Dioptré d'Héron d'Alexandrie, Mémoires XXI* du Centre Jean-Palmerne, Publications de l'Université de Saint-Étienne, p. 19-36.

Quelques problèmes d'histoire du texte autour d'un traité technique de l'Antiquité : la *Dioptre* d'Héron d'Alexandrie

Micheline DECORPS
Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand)

Introduction

Les responsables de l'APLAES ont souhaité consacrer la journée scientifique du Congrès 2011 aux « machines et inventions en Grèce et à Rome », et, plus généralement, aux connaissances techniques gréco-romaines, qui constituent une part importante du patrimoine culturel de l'Antiquité. Puisque mon intervention est la première de cette journée, j'aimerais dire en premier lieu que, même si de nombreuses légendes ont fleuri sur la route qui mène de Thalès à Vitruve, le savoir technique a toujours été nourri par une interrogation conceptuelle et spéculative sur l'origine des phénomènes ; cette interrogation a produit une véritable littérature scientifique lorsque les savants, profitant des progrès de l'activité de librairie aux époques hellénistique et romaine, ont pu transmettre par des écrits pérennes les théories, les découvertes et les méthodes de recherche.

Je voudrais insister, en introduction, sur l'importance de cette littérature scientifique et technique, qui a été assez peu exploitée par le passé dans nos études supérieures, mais qui suscite maintenant une vraie curiosité, et cela, chez les antiquisants, mais aussi, et plus encore, chez nos amis mathématiciens et physiciens. De plus en plus de jeunes scientifiques, passionnés d'histoire des sciences, choisissent délibérément de prendre pour champ de recherche les apports de l'Antiquité gréco-romaine et viennent interroger directement les textes qui relèvent de cette littérature.

Un gros effort a été fait depuis l'après-guerre pour rendre accessibles aux chercheurs d'aujourd'hui les textes scientifiques et techniques grecs et latins, et renouveler les grandes éditions de la fin du XIX^e siècle. La France n'a pas été en reste dans ce mouvement, qui est international. Les Belles Lettres, en particulier, ont largement encouragé la parution de ces textes dans ses collections (et cela dans la lignée de l'intervention fondatrice de Jean BEAUJEU¹ au

1. BEAUJEU, J. (1949).

Congrès Guillaume Budé de Grenoble, en 1948, et dans celle des travaux d'Alphonse DAIN sur les *corpus* des tacticiens et des poliorcètes). Dans ces domaines techniques, ce sont évidemment les textes médicaux qui sont les mieux connus par les littéraires que nous sommes ; les éditions de la *Collection hippocratique* nous sont familières, et nous suivons tous le programme ambitieux d'édition de toute l'œuvre de Galien de Pergame. Cette volonté de faciliter l'accès aux textes techniques s'est également manifestée dans les sciences mathématiques prises au sens le plus large, celui de la μαθηματικὴ ἐπιστήμη de l'Antiquité.

Au congrès de l'Association Guillaume Budé de Montpellier en 2008, consacré à l'*Homme et la science*, Jean-Yves GUILLAUMIN a fait un rapport très précis sur la production érudite moderne consacrée à la science gréco-romaine dans l'Antiquité : un certain nombre d'encyclopédies ou de *corpus* techniques (mécaniques, musicaux, tactiques, gromatiques, botaniques, astrologiques alchimiques, etc.) ont bénéficié depuis ces dernières années d'une activité philologique intense, ce qui a permis de mettre à la disposition des chercheurs des éditions critiques modernes, des traductions, des commentaires, sans parler des travaux qui portent sur tous les *loci* consacrés à la science et que l'on trouve en grand nombre chez nos plus grands auteurs grecs et latins.

Il faut également rappeler le nombre important des ouvrages consacrés à l'histoire des textes scientifiques et à leur réception ainsi que tous les travaux consacrés au vocabulaire scientifique et technique des Anciens.

Avec tous ces travaux relatifs à l'édition, la traduction, le commentaire, l'histoire des textes, la réception, le vocabulaire, nous sommes dans le champ d'intervention des philologues. Par leur activité, ces derniers ont considérablement élargi le champ d'application de l'histoire des sciences.

J'en viens maintenant à mon sujet, le traité de la *Dioptre* d'Héron d'Alexandrie². Même s'il n'est pas consacré à une machine, au sens propre du terme, mais à un instrument, à savoir un appareil de visée, il relève du savoir technologique des Anciens ; il a donc sa place dans cette journée. Il offre un bon exemple de la nature des traités techniques de l'Antiquité et des problèmes soulevés par leur transmission. Il y a une raison plus personnelle à ce choix de la *Dioptre*, puisque nous avons rassemblé avec Jean-Yves GUILLAUMIN, Gilbert ARGOUD et Anne ROTH CONGÈS un certain nombre d'éléments pour une édition future de ce traité et que nous lui avons consacré un colloque dont les actes ont été pu-

2. Pour une vue d'ensemble des travaux d'Héron, on pourra se reporter à la notice de GIARDINA, G. R. (2003).

bliés sous le titre *Autour de la Dioptré d'Héron d'Alexandrie*³. Nous avons fait intervenir des mathématiciens, des ingénieurs, des archéologues, des historiens des mathématiques autour de l'instrument décrit par Héron.

Avant de parler du traité lui-même, quelques mots auparavant sur l'objet, la dioptré des Grecs (ἡ δίοπτρα). C'était un instrument de visée, comme son nom l'indique (« appareil par lequel on vise »), dévolu à la détermination des directions et à la mesure des angles. La dioptré avait des applications terrestres (elle permet la mesure des distances et des hauteurs) et des applications astronomiques. Elle a pris des formes très diverses au cours de son histoire. Pour en parler de manière très schématique, la dioptré des Grecs était un appareil de visée monté sur un pied fixe, dont la mise à la verticale était réglée par un fil à plomb. Elle s'inscrit dans toute une lignée d'instruments de visée qui ont fait l'objet de nombreux travaux en histoire des sciences. Je vous renvoie plus particulièrement au livre que Michael LEWIS a consacré aux instruments d'arpentage de l'Antiquité gréco-romaine, *Surveying Instruments of Greece and Rome*⁴, dans lequel il recueille et analyse les témoignages textuels relatifs à la dioptré, et procure également une traduction anglaise des 38 chapitres du traité d'Héron.

La dioptré ne semble pas avoir été exportée à Rome (les arpenteurs et ingénieurs romains utilisaient la groma et la libra) et n'a pas survécu comme instrument astronomique (elle s'est effacée devant la sphère armillaire et l'astrolabe plan⁵).

La dioptré n'est pas malheureusement un objet archéologique. Son fonctionnement et ses usages ne sont connus que par des textes, qui demandent à être analysés, interprétés, replacés dans leur contexte. Ce sont des témoignages textuels, comme ceux de Ptolémée, de Pappus d'Alexandrie et de Proclus d'Alexandrie, qui nous permettent, par exemple, de connaître la fameuse dioptré de l'astronome Hipparque (II^e siècle av. J.-C.), qui permettait de mesurer les variations du diamètre apparent du soleil et de la lune.

Le traité de la *Dioptré* d'Héron d'Alexandrie

Venons-en au traité d'Héron, à sa nature et aux circonstances de sa transmission. L'ouvrage constitue une source documentaire fondamentale, puisque

3. ARGOUD, G. & GUILLAUMIN, J.-Y. (ÉD.) (2000).

4. LEWIS, M. J. T. (2001).

5. Pour une description de ces instruments, on pourra se reporter à l'ouvrage pédagogique de DUTARTE, PH. (2006).

c'est le seul ouvrage conservé de l'Antiquité qui soit entièrement consacré à l'instrument, à sa construction et ses usages. De manière générale, l'œuvre technologique d'Héron (I^{er} siècle apr. J.-C.) a été mieux conservée dans sa forme originale que son œuvre géométrique; elle est donc mieux identifiable. Je rappelle, en effet, que c'est la découverte des *Metrica* en 1896 par R. Schöne dans un manuscrit de Constantinople du XI^e siècle, qui a permis de faire émerger la véritable contribution géométrique d'Héron du magma des compilations multiples qui lui étaient attribuées dans les manuscrits byzantins.

Le traité de la *Dioptré*, comme le traité des *Pneumatiques* ou celui des *Automates*, a été transmis comme un ouvrage indépendant. Il a conservé son titre (Ἡρώου περὶ διόπτρας) et sa préface; son ordonnance interne suit un plan qui semble avoir été traditionnel et qui est formulé par Héron à la fin de sa préface⁶ : « Je vais donc commencer mon exposé par la construction de la dioptré; ensuite j'en viendrai à ses utilisations ». On retrouve la même ordonnance dans le traité *Sur l'astrolabe plan* de Jean Philopon, écrit au VI^e siècle : une description de l'instrument et de ses différentes parties, puis, un choix de *problèmes*, au sens géométrique du terme, illustrant les usages de l'instrument et formulés par des énoncés en bonne et due forme.

Au total, chez Héron, on a 38 chapitres, dont 5 sont consacrés à la description de la dioptré; les autres traitent des usages de l'instrument dans les différents domaines d'application de la science que les Anciens appelaient *dioptrique*. La *dioptrique* a sa place dans la classification des sciences de Géminus (I^{er} siècle av. J.-C.), rapportée par Proclus, dans son commentaire du Livre I des *Éléments*; elle y figure comme une branche de l'astronomie.

Héron rassemble donc dans son traité :

- des problèmes de hauteur et de distance (exemple du chapitre 12 : évaluer la hauteur d'un point inaccessible);
- des problèmes d'ingénierie (exemple des chapitres 15 et 16 : creuser à la base d'une montagne un tunnel d'une ouverture à l'autre; creuser dans une montagne des regards à la perpendiculaire d'un conduit souterrain);
- des problèmes de mesure des terres, dont certains nous font entrer dans le quotidien de l'arpenteur (chapitre 25 : « les bornes d'un terrain n'étant

6. *Heronis Alexandrini opera quae supersunt omnia*, éd. H. SHOENE, III, B.G. Teubner, Leipzig, 1903, p. 190, 22-23.

plus visibles, à l'exception de deux ou trois, et avec le plan à notre disposition, trouver les bornes restantes »⁷);

- des problèmes purement géométriques, nécessaires à la pratique des arpenteurs et des ingénieurs (chapitres 28-30).

Ces derniers problèmes de géométrie sont trois propositions⁸ respectivement utilisées dans les chapitres 24, 26 et 27, et dont Héron a différé la démonstration à la fin de son ouvrage. Ils sont suivis de quelques chapitres également présentés comme des compléments. C'est dans cette toute dernière partie que l'on trouve la description de l'odomètre (l'ancêtre de notre compteur kilométrique) et les deux seuls chapitres astronomiques de l'ouvrage : le chapitre 32, où il s'agit de déterminer la distance angulaire de deux astres, et le fameux chapitre 35, consacré à la mesure de la distance entre Rome et Alexandrie, chapitre qui a permis à Neugebauer de situer Héron d'Alexandrie dans la seconde moitié du 1^{er} siècle après J.-C., grâce à l'identification de l'éclipse de lune de l'année 62 de notre ère.

Malgré la cohérence d'ensemble que l'on perçoit à la lecture du traité, le traitement qui est fait de la dioptré est bien loin de répondre à toutes les questions concrètes qui se posent pour la connaissance de l'instrument, et cela pour des raisons de nature différente :

La première raison est accidentelle : le manuscrit à la base de notre tradition médiévale, le *Parisinus Suppl. gr.* 607, qui est un manuscrit de poliorcétique du X^e siècle, rapporté du monastère athonite de Vatopédi par Minoïde Mynas⁹, en 1843, a perdu les deux folios centraux du quaternion où se trouvait la description de l'appareil¹⁰; cette perte, qui peut être tout aussi bien accidentelle que voulue, a provoqué une lacune très dommageable : on a perdu ainsi la description de toute la partie intermédiaire de l'instrument, mais aussi un certain nombre des figures qui permettaient sans doute de mieux comprendre à la fois le montage d'ensemble et la manière dont les différentes pièces s'ajustaient les unes aux autres.

Le texte nous livre seulement la description du pied, de l'axe cylindrique qui le prolonge, d'un moyeu mobile qui tourne autour de lui, puis la description

7. *Ibid.*, p. 268, 17-19.

8. On les retrouve traités dans les *Metrica* (III,7; III,1; I,7).

9. Sur ce personnage (1798 - 1859), voir la bibliographie rassemblée par HOFFMANN, PH. (1987), dans la note 2 de son article.

10. L'incident à l'origine de la lacune a été mis en évidence par l'éditeur du traité SCHÖNE, H. (1898).

des éléments solidaires de ce moyeu, et celle du disque vertical qui le surmonte ; en raison de la lacune, on passe directement ensuite à la description d'un des deux accessoires de la dioptré, le niveau d'eau, dont les mesures sont imposantes, puisqu'il faisait deux mètres de long. On a perdu les explications qui montraient ce qui rendait le niveau d'eau solidaire de son support. On a perdu également, comme on le comprend en lisant la suite des problèmes, la description d'un autre accessoire de la dioptré, l'alidade et tout son appareillage inférieur.

Comme on ne dispose que d'une seule famille de manuscrits, que les rares copies du *Parisinus* sont postérieures à la dégradation du quaternion, on n'a plus aucun moyen de restituer le texte et les figures perdues.

La deuxième cause de notre manque d'information sur l'objet lui-même est l'absence d'éléments de comparaison : dans sa préface, Héron se flatte d'avoir « construit » une dioptré polyvalente, adaptée à tous les usages, et affirme que ses prédécesseurs ont opéré avec plusieurs dioptrés différentes et n'ont pu résoudre qu'un petit nombre de problèmes. Or aucun des écrits antérieurs dont nous parle Héron n'a été transmis par l'Antiquité. Il est donc difficile de connaître la nature de ses innovations et d'en évaluer le résultat ; cela est d'autant plus ennuyeux que son instrument est relativement sophistiqué et pose le problème de sa réelle utilité sur le terrain.

Le fait que le traité d'Héron soit le seul ouvrage que l'Antiquité nous ait transmis sur la dioptré n'est pas surprenant. Dans la tradition des traités scientifiques et techniques, un nouvel ouvrage sur une question donnée incorpore la matière des précédents, avec le risque de les faire oublier, s'ils apparaissent obsolètes. Quand ils sont moins lus, ils sont de moins en moins recopiés, et le nombre d'exemplaires qui survivent n'est plus suffisant pour passer le cap de la transmission au Moyen Âge. On a de nombreux exemples de ce phénomène : pour rester dans le domaine de la mécanique, on connaît les traités de Philon de Byzance, mais l'Antiquité ne nous a pas transmis l'œuvre de son prédécesseur, Ctésibios, considéré pourtant comme l'un des fondateurs de l'école des mécaniciens d'Alexandrie.

Il y a une troisième raison qui explique que notre connaissance de l'instrument d'Héron reste insuffisante ; elle relève du mode d'exposition choisi par l'auteur. Comme nous manquons cruellement de documents archéologiques et de documents textuels sur la dioptré, on aimerait pouvoir, avec l'ouvrage d'Héron, à la fois monter l'instrument et vérifier son efficacité. Or ce sont surtout

des usages qui sont décrits : ce que Héron nous montre, ce sont les types de problèmes qui peuvent être résolus grâce à l'utilisation de la dioptre.

D'autre part, Héron n'adopte vraiment une démarche concrète que dans les chapitres initiaux, comme, par exemple, dans le chapitre 6, dédié à l'opération de nivellement : on suit effectivement pas à pas la progression du topographe. On voit où et comment, chaque fois, la dioptre et les mirettes sont positionnées ; on voit les éléments de l'appareil de visée pivoter, on prend connaissance de tous les calculs. On sait également à quoi sert l'opération menée, en l'occurrence, à la construction d'une canalisation destinée à conduire l'eau jusqu'à un endroit donné.

Mais, dans la suite, on voit de moins en moins l'instrument en action : l'exposé est consacré aux méthodes de résolution des problèmes qui font appel à des visées. Dans les derniers chapitres, on assiste même à un changement de point de vue, explicité par Héron lui-même, puisqu'il s'agit d'opérer, sans la dioptre, dans les domaines d'application qui sont les siens : on voit, par exemple, l'utilisation de l'odomètre pour la mesure des distances au sol (chapitre 34) ou encore les inconvénients de l'utilisation de l'appareil appelé *asteriskos* pour l'arpenteur sur le terrain (chapitre 33).

On voit donc que l'approche théorique et méthodologique l'emporte sur la description technique, et que le traité d'Héron est plus fondamentalement un traité de dioptrique qu'un traité relatif à la dioptre proprement dite. On doit penser que Héron, en cela, s'inscrivait dans une tradition rédactionnelle, qui faisait que la description d'un instrument ne constituait pas à elle seule l'objet d'un traité technique : la présentation de l'instrument se faisait dans le cadre plus général de l'étude de ses domaines d'application.

La préface d'Héron est caractéristique à cet égard : elle ne rend pas compte du contenu précis du traité, mais constitue une introduction à la science de la *dioptrique*, définie comme une discipline, une matière spécifique (*πραγματεία*), et dont Héron entend justifier l'utilité pour les usages de la vie (*πολλὰς παρέχεται τῷ βίῳ χρείας*). Les exemples cités à l'appui de sa démonstration font figure de « motifs » littéraires ; on les retrouve chez les historiens et les géographes (la construction des murailles et des ports, la nécessité de bien évaluer la hauteur des murailles d'une ville assiégée, la nécessité de mesurer les distances de points inaccessibles, îles, mers, cours d'eau, montagnes, positions occupées par l'ennemi, etc.).

J'évoquerai enfin une quatrième et dernière raison pour expliquer le fait que nous restions, pour ainsi dire, sur notre faim : l'appareil construit par Héron est sophistiqué, comme je l'ai dit ; il est nouveau, à en croire Héron lui-même. On attend donc qu'Héron démontre la supériorité de sa dioptré par rapport à celles de ses prédécesseurs. Or il ne le fait pas. D'autre part, les problèmes de nivellement, de mesure des terres, d'ingénierie pouvaient être résolus par l'utilisation d'autres instruments. On remarque aussi que la majorité de ces problèmes restent malgré tout relativement ordinaires, et sont même en décalage avec la présentation quelque peu emphatique de la préface. L'écart perceptible entre la nature de l'objet décrit et les contextes dans lesquels Héron inscrit l'exposé de ses applications est peut-être également le signe que l'instrument construit par le mathématicien restait à l'état de prototype.

J'en viens maintenant aux problèmes de transmission.

Je ferai d'abord une remarque d'ordre général : les traités scientifiques et techniques ont dû affronter de nombreux écueils pour être conservés et transmis. Leur circulation a étroitement dépendu de l'existence et de la survie de milieux spécialisés, susceptibles d'en exploiter le contenu. Ceux qui ont franchi les caps les plus difficiles sont les ouvrages utilisés dans les programmes d'enseignement ; mais ils n'ont pas toujours évité un autre risque majeur, celui de subir d'importantes modifications éditoriales, dont les plus lourdes sont l'absorption dans des recueils pédagogiques et des collections thématiques, où ils ont perdu leur identité ; sans parler des multiples pièges qu'ils réservent aux copistes, qui sont exposés en permanence aux erreurs d'interprétation des abréviations et aux confusions entre nombres et lettres désignatrices des figures géométriques ; sans parler non plus de la vulnérabilité des figures, souvent disparues à l'occasion des reliures successives.

Non seulement le traité d'Héron n'a pas échappé à ces écueils, mais il en a trouvé d'autres sur sa route, qui font que la grave lacune du *Parisinus suppl. gr.* 607 ne peut être comblée, que seuls quatre manuscrits de la *Dioptré*¹¹ sont conservés, alors que le traité intéressait arpenteurs, ingénieurs et astronomes¹²,

11. Nous disposerions aujourd'hui de cinq manuscrits, si l'incendie du Séminaire protestant de Strasbourg, en 1870, ne nous avait pas privé du manuscrit de l'humaniste Dasypodius, l'*Argentoratensis* C III 6.

12. A titre de comparaison, on dispose pour les *Pneumatiques* de plus d'une centaine de manuscrits. Le plus ancien est un manuscrit byzantin des années 1300, le *Marcianus* 516, dont l'existence suppose évidemment des modèles byzantins disparus. C'est un manuscrit de Bessarion, qui a été légué, comme toute sa collection, à la République de Venise, donc un manuscrit, qui, dès son

et qu'enfin, l'*editio princeps* de l'ouvrage date seulement de 1858 (c'est l'édition de Vincent¹³).

Le traité de la *Dioptré* n'a pas été transmis par l'intermédiaire de manuscrits scientifiques. Il a eu la malchance d'être rattaché à un *corpus* très spécialisé, celui des poliorcètes anciens, déjà constitué à la fin de l'Antiquité, et qui comprenait les traités d'Athénée (*De machinis*), de Biton (*De constructione machinarum*), d'Apollodore de Damas (*Poliorcetica*) ainsi que les deux traités d'Héron (*Belo-poïca* et *Chirobalistra*). Les raisons de ce rattachement ne sont pas difficiles à imaginer : la présence, en effet, des deux traités de poliorcétique d'Héron dans ce *corpus* comme les allusions de la préface de la *Dioptré* aux applications militaires de la dioptrique ont très certainement favorisé un tel rapprochement. Or ce rattachement, dont il existe d'autres témoignages que celui du manuscrit de Mynas¹⁴, a privé le traité de son public naturel. Les lecteurs auxquels est destinée la collection des poliorcètes ne constituent pas le public qui peut exploiter le contenu d'un traité comme celui de la *Dioptré*. La destinée du texte va le confirmer :

Le *corpus* ancien des poliorcètes nous a été transmis par deux familles de manuscrits, issues de deux translittérations distinctes : l'une de ces deux traditions est représentée par le *Parisinus suppl. gr. 607* et les quelques exemplaires qui en dépendent ; l'autre est représentée par des manuscrits plus récents (trois sont du XI^e siècle), qui ont eu une très nombreuse descendance¹⁵.

Cette seconde famille aurait pu nous permettre de pallier la lacune du *Parisinus*, qui nous prive d'une partie importante de la description de l'instrument, mais il se trouve que ses représentants conservés n'ont pas le texte de la *Dioptré*. Les manuscrits de cette seconde famille sont, en effet, les témoins d'une refonte du *corpus* des poliorcètes, qui a été opérée très vraisemblablement à Constan-

arrivée en Italie, est à la disposition de tous les érudits de la Renaissance italienne. Ajoutons que le *Marcianus* est un manuscrit de la *Géographie* de Ptolémée et ne pouvait donc passer inaperçu. Nous avons là une conjonction de facteurs qui ne pouvait que faciliter la transmission des *Pneumatica*. Il faut leur ajouter le contenu même du traité, qui suscitait aussi bien la curiosité des scientifiques que celle des amateurs éclairés.

13. VINCENT, A. J. H. (1858).

14. On peut citer l'exemple de l'auteur anonyme byzantin du milieu du X^e siècle, désigné sous le nom d'Héron de Byzance, qui, pour écrire sa *Poliorcétique* et sa *Géodésie*, utilise une collection d'au moins quatre poliorcètes (Athénée, Biton, Héron d'Alexandrie, Apollodore), complétée par la *Dioptré*, à laquelle il emprunte les chapitres 31 et 32.

15. Sur ces questions, on se reportera à l'édition de WESCHER, C. (1867) et aux nombreux travaux de DAIN, A. sur les stratégestes.

tinople, au début du X^e siècle, à un moment où l'on voit renaître les études militaires, sous l'influence de l'empereur Léon le sage. Cette refonte a eu pour conséquence de rattacher les poliorcètes au *corpus* très prisé des tacticiens et d'éliminer la *Dioptra*; on peut comprendre que, dans le contexte de l'encyclopédisme byzantin du X^e siècle, on ait voulu constituer un *corpus* plus identifié, dédié plus généralement à la stratégie militaire, et que, de ce fait, la *Dioptra* n'y ait pas trouvé sa place; ce qui n'a pas été le cas, évidemment, pour les deux autres traités d'Héron, les *Belopoiica* et la *Chiroballistra*, qui sont d'authentiques traités de technologie militaire. Contrairement à la *Dioptra*, ils ont donc bénéficié de la large audience des traités transmis par l'intermédiaire de la seconde branche.

On aurait également pu espérer tirer parti des apoglyphes du *Parisinus suppl. gr. 607*. Or le manuscrit de Mynas n'a eu aucun descendant byzantin conservé, et les quelques manuscrits qui en dépendent sont des copies réalisées à la Renaissance, postérieurement à la perte des folios du quaternion.

On est surpris, d'autre part, du petit nombre de copies occidentales du *Parisinus*. Le fait s'explique par une nouvelle malchance, qui a privé le traité d'Héron du public humaniste.

Le manuscrit a bien été rapporté une première fois d'Orient, à la Renaissance. Une lettre de Giovanni Aurispa à Ambrogio Traversari permet de supposer que c'est bien ce manuscrit qui est arrivé de Constantinople à Venise en 1423. Mais il n'y est pas resté, parce qu'il a été racheté pour la bibliothèque du roi de Hongrie, Matthias Corvin (1459-1490). Après la mort de Matthias Corvin et la dispersion de sa bibliothèque, il est revenu en Orient.

On voit bien qu'en repartant au XV^e siècle dans le centre de l'Europe, le manuscrit s'est coupé des milieux scientifiques italiens, qui auraient pu lui assurer une abondante descendance, et procurer très tôt traductions et éditions. Les quelques copies qui nous restent du *Parisinus*, sont bien des manuscrits héroniens, copiés pour un public d'humanistes intéressés par ces sujets, mais elles sont restées dans un cercle très restreint.

On a donc, avec l'ouvrage de la *Dioptra* d'Héron d'Alexandrie, l'exemple d'un traité technique auquel il a longtemps manqué un public, avant qu'il ne soit redécouvert par les savants modernes.

Bibliographie

ARGOUD, G. & GUILLAUMIN, J.-Y. (ÉD.) (2000), *Autour de la Dioptré d'Héron d'Alexandrie. Actes du Colloque International de Saint-Étienne (17,18,19 juin 1999)*, Saint-Étienne : Presses de l'Université de Saint-Étienne.

BEAUJEU, J. (1949) « La littérature technique des Grecs et des Latins », *Actes du Congrès de Grenoble 21-25 septembre 1948*, Paris : Les Belles Lettres, p. 21-77.

DUTARTE, PH. (2006), *Les instruments de l'astronomie ancienne*, Paris : Vuibert.

GIARDINA, G. R. (2003), notice « Hiéron d'Alexandrie », Supplément au *Dictionnaire des philosophes antiques*, Paris : CNRS Éditions, p. 87-103.

HOFFMANN, PH. (1987), «Un recueil de fragments provenant de Minoïde Mynas : le *Parisinus Suppl. gr. 681*», *Scriptorium*, 41,1, p. 115-127.

LEWIS, M. J. T. (2001), *Surveying Instruments of Greece and Rome*, Cambridge (Mas.) : Cambridge University Press.

SCHÖNE, H. (1898), « Über den Mynascodex der griechischen Kriegsschriftsteller in der Pariser Nationalbibliothek », *Rheinisches Museum für Philologie*, 53, p. 432-447.

VINCENT, A. J. H. (1858), « Extraits des manuscrits relatifs à la géométrie pratique des Grecs », *Notices et extraits des manuscrits de la bibliothèque impériale*, 19, 2, Paris, p. 157-337.

WESCHER, C. (1867), *La poliorcétique des Grecs*, Paris.

L'invention du moulin à eau

Philippe FLEURY

Université de Caen

Équipe de Recherche sur les Littératures, les Imaginaires et les Sociétés
(ERLIS) – EA 4254

L'étude approfondie des sciences et des techniques est un élément fondamental pour la connaissance du monde antique dans son ensemble et en particulier pour la connaissance de sa vie économique et sociale. La question du moulin à eau est un point crucial dans l'histoire des techniques, et cela à double titre : d'abord parce qu'elle touche un aspect essentiel de l'alimentation humaine (la mouture des céréales), ensuite parce qu'il s'agit de la première application pratique d'un moteur, autre que l'homme ou l'animal, pour faire fonctionner un mécanisme¹. L'histoire de l'invention et de la diffusion du moulin à eau a connu dans les trente dernières années une véritable révolution, dont toutes les implications ne semblent pas tirées. Jusque dans les années 80, on admettait de façon quasi unanime que l'invention du moulin à eau remontait au I^{er} siècle a.C., en utilisant deux arguments essentiels : les premiers témoignages littéraires datent tous de cette époque (Strabon, Vitruve, *Anthologie Palatine*) et le texte de l'*Anthologie Palatine* exprime clairement l'idée qu'il s'agit d'une technique nouvelle. Dans le même courant d'idées, on pensait que le moulin à eau était demeuré une rareté jusqu'à la fin de l'Empire romain et qu'il ne s'était véritablement développé qu'à partir du IV^e siècle p.C., et surtout au Moyen-Âge (ce serait même la grande révolution technique du Moyen-Âge²). Les textes sont en effet étonnamment silencieux entre le I^{er} siècle a.C. et le IV^e siècle p.C., voire le V^e siècle p.C. La rareté des témoignages archéologiques renforçait cette analyse. Cette thèse fut toutefois ébranlée une première fois en 1979 par Ö. WIKANDER qui montrait, à cette époque, que les fameux moulins du Janicule, considérés comme la première grande installation meunière de Rome, ne devaient plus être datés du IV^e siècle p.C., mais du début du III^e siècle p.C.³ Dans ses études postérieures, fondées sur des témoignages archéologiques, il prouvait enfin que la grande période d'extension du moulin à eau dans l'Empire romain était le II^e

1. WILSON, A. (2002).

2. GILLE, B. (1954).

3. WIKANDER, O. (1979).

siècle p.C.⁴ Le deuxième bouleversement eut lieu en 1997, quand M.J.T. LEWIS⁵ eut l'idée d'intégrer les textes arabes aux sources littéraires grecques et latines, ce qui lui permit de faire remonter l'invention du moulin à eau à Byzance et à l'école d'Alexandrie, au III^e siècle a.C. Ces deux révolutions successives ont été un véritable progrès pour la connaissance de cette technique.

Nous allons faire le point sur ces questions en dissociant « invention » et « adoption », en associant étroitement philologie et archéologie, et en accordant une attention particulière au texte de Vitruve, le seul auteur antique à décrire le moulin. Le système qu'il expose est dans une configuration probablement proche de celle de son invention. Mais cette configuration est souvent mal comprise car interprétée à la lumière de celle des moulins à eau du Moyen-Âge et des siècles postérieurs.

La littérature et l'invention du moulin à eau.

En grec et en latin, les premiers témoignages concernant le moulin à eau sont concentrés dans la deuxième moitié du I^{er} siècle a.C. Dans l'ordre chronologique, ils appartiennent à Vitruve (vers 25 a.C.), à Strabon (9-5 a.C.) et à Antipater de Thessalonique (*Anthologie Palatine*, 13 a.C.-19 p.C.). Nous allons reprendre ces trois textes.

Vitruve, *De architectura*, 10, 5, 2 : *Eadem ratione etiam uersantur hydraletae, in quibus eadem sunt omnia, praeterquam quod in uno capite axis tympanum dentatum est inclusum. Id autem ad perpendicularum conlocatum in cultrum uersatur cum rota pariter. Secundum id, tympanum maius item dentatum planum est conlocatum quo continetur. Ita dentes tympani eius, quod est in axe inclusum, impellendo dentes tympani plani cogunt fieri molarum circinationem. In qua machina inpendens infundibulum subministrat molis frumentum et eadem uersatione subigitur farina.*

C'est encore suivant le même principe [i.e. le principe des roues à augets automotrices] que l'on fait tourner les moulins à eau (*hydraletae*), où se retrouvent les mêmes éléments, avec pourtant cette différence qu'à une extrémité de l'axe (fig.1 page 44 et 3 page 45, A) est emboîté un tambour denté (fig.1 page 44 et 3 page 45, B); ce tambour, placé verticalement, de chant, tourne de concert avec la roue (fig.1 page 44 et 3 page 45, C). Contre lui est disposé, horizontalement, un tambour plus grand (fig.1 page 44, D), également denté, sur lequel il engrène. Ainsi les dents du tambour, qui est emboîté sur l'axe, entraînant les dents du tambour horizontal, déterminent le mouvement tournant des meules

4. Voir notamment SCHIOLER, Th. & WIKANDER, O. (1983); WIKANDER, O. (1984).

5. LEWIS, M.J.T. (1997).

(fig.1 page 44, E, E'). Suspendue au-dessus de cette machine, une trémie (fig.3 page 45, F) alimente les meules en grains que cette même rotation réduit en farine.

Vitruve, ingénieur public, au service de César puis d'Auguste, traite le moulin à eau au dixième livre de son *De architectura*, consacré à la mécanique. Cette machine est décrite à la suite des roues automotrices pour élever l'eau. Le nom qui lui est donné par Vitruve, probablement en grec, n'a pas été compris par le copiste de l'archétype (ou par un copiste encore antérieur), et du coup, tous les manuscrits portent des variantes de la forme *(h)ydraulae*, issue d'une confusion avec le nom de l'orgue hydraulique décrit trois chapitres plus loin. La forme *hydraletae*, que nous retenons ici ⁶, est une reconstitution qui a été proposée par J.G. Schneider ⁷ en 1908, d'après le texte de Strabon. D'autres éditeurs, comme C. MAUFRAS ⁸ par exemple, ont préféré restituer *hydromylae* d'après le terme ὑδρόμυλοι utilisé par Hésychius ⁹, un grammairien d'Alexandrie qui vécut au VI^e siècle p.C.

Strabon 12, 3, 30 : ἐν δὲ τοῖς Καβείροις τὰ βασιλεία Μιθριδάτου κατεσκευάστο καὶ ὁ ὑδραλέτης καὶ τὰ ζωγρεῖα καὶ αἱ πλησίον θήραι καὶ τὰ μέταλλα.

À Cabire, le moulin à eau, les viviers, les chasses voisines et les mines faisaient partie du palais de Mithridate.

Strabon décrit la ville de Cabire et s'attache au palais de Mithridate VI Eupater, le roi qui régna sur le Pont de 120 à 63 a.C. et dont l'histoire est assez bien connue : il fut en effet chassé de Cabire en 71 a.C. par Lucullus et il reconquit brièvement la ville en 67-66 a.C., avant d'en être à nouveau chassé par Pompée. Le moulin mentionné dans le texte de Strabon fut donc probablement construit avant 71 a.C. La dynastie royale du Pont est d'origine perse (et Mithridate le revendique), mais les unions avec la dynastie Séleucide ont été nombreuses (la mère et la grand-mère de Mithridate appartiennent à cette dynastie).

Anthologie palatine 9, 418 :

Ἴσχετε χεῖρα μυλαῖον, ἀλετρίδες, εὔδετε μακρά,
κῆν ὄρθρον προλέγη γῆρυς ἀλεκτρούων·

6. Edition CALLEBAT, L. (1986) (avec la collaboration pour le commentaire de FLEURY, PH.), *Collection des Universités de France*, Paris : Les Belles Lettres.

7. Edition SCHNEIDER J. G. (1807-1808), Leipzig : Goeschel (3 vol.).

8. Edition MAUFRAS, C. (1847), Paris : Panckoucke (2 vol.).

9. Hesychius, *Lexicon* (ὅ) 90,1 : ὑδρόμυλοι· ὑδραλετία ἀπὸ ὕδατος

Δηὼ γὰρ Νύμφαισι χερῶν ἐπετείλατο μόχθους·
αἱ δὲ κατ' ἄκροτάτην ἀλλόμεναι τροχίην
ἄξωνα δινεύουσιν· ὁ δ' ἄκτίνεσσιν ἑλικταῖς
στρωφῶ Νισυρίων κοῖλα βάρη μυλάκων.
γευόμεθ' ἀρχαίου βιότου πάλιν, εἰ δίχρα μόχθου
δαίνυσθαι Δηοῦς ἔργα διδασκόμεθα.

Retenez votre main qui moud, travailleuses de la meule, dormez longtemps, même si la voix des coqs annonce l'aube. Car Déô a imposé aux nymphes la fatigue de vos mains. Et elles, s'élançant de haut sur la périphérie de la roue, font tourner l'axe ; et lui au moyen des rayons tournoyants fait tourner les masses creuses des pierres de Nysiros. Nous goûtons à nouveau de la vie ancienne puisqu'on nous enseigne à manger, loin de la fatigue, les produits de Déô.

L'attribution de cette épigramme à Antipater de Thessalonique est généralement admise mais n'est toutefois pas assurée : elle fait partie des 99 poèmes de l'*Anthologie Palatine* pour lesquels les manuscrits n'ont transmis que le nom d'Antipater, tandis que 44 sont explicitement attribués à Antipater de Sidon (II^e siècle a.C.) et 36 à Antipater de Thessalonique (fin I^{er} siècle a.C. - début I^{er} siècle p.C.). Déô est l'un des noms de Déméter, la déesse des moissons. Les nymphes symbolisent l'eau courante. Les indications données sur le moulin sont relativement précises : elles permettent de déduire que l'appareil est du même type que celui de Vitruve, illustré par les figures 1 à 3. La « roue » (τροχίη) est la roue à aubes (fig.1 page 44 et 3 page 45, C). Il n'y a pas de conclusions à tirer du superlatif ἄκροτάτην pour savoir s'il s'agit d'une roue « par-dessus », ou d'une roue « par-dessous », c'est-à-dire pour déterminer si le courant d'eau passe par-dessus la roue ou par-dessous : ἄκρος peut en effet vouloir dire « le plus haut » (cf. acropole), mais son sens global est « extrême » et il peut signifier aussi « le plus au dehors ». Ainsi, chez Homère ἄκρη χεῖρ est « l'extrémité de la main »¹⁰, ἄκροι πόδες, « le bout des pieds »¹¹. Nous avons donc considéré que ἄκροτάτην τροχίην désignait « la périphérie de la roue », sans trancher sur le sens de rotation, sachant que les deux systèmes sont attestés et qu'ils ont chacun leurs propres avantages. L'« axe » (ἄξων) du texte d'Antipater correspond à l'axe (fig.1 page 44 et 3 page 45, A) du texte de Vitruve, qui porte d'un côté la roue à aubes, de l'autre la roue dentée verticale. Les « rayons tournoyants » sont probablement les dents de la roue dentée verticale (fig.1 page 44 et 3 page 45, B). L'expression « pierres de Nysiros » est une métaphore pour désigner les meules

10. Hom., *Il.* 5, 336.

11. Hom., *Il.* 16, 640.

(fig.1 page 44, E et E') : Nisyros est une île volcanique de la mer Egée, probablement un centre de production de pierres meulières. Où Antipater a-t-il pu voir fonctionner ce moulin ? En Macédoine, son pays natal, ou en voyageant avec L. Calpurnius Pison, son patron ? Aucun élément sérieux ne permet de répondre à cette question, même si M.J.T. LEWIS suggère le nom de Mylae, en Thessalie, comme localisation possible.

La concomitance relative de ces trois textes a conduit à l'opinion commune que le moulin a été inventé au I^{er} siècle a.C. et que nous avons un cas exceptionnel de textes témoignant d'une invention contemporaine. La thèse était d'ailleurs confortée par le témoignage tardif d'un auteur de la Renaissance, Julius Pomponius Laetus, qui possédait probablement d'autres sources que les nôtres. Il écrit en effet en 1487, dans son commentaire au *Moretum* du pseudo-Virgile : *Paulo ante Augustum molae aquis actae, Romae in Tiberi primum factae...*¹² Si l'on en croit ce texte, des moulins à eau furent donc installés pour la première fois sur le Tibre juste avant l'époque augustéenne. Pomponius Laetus est quelqu'un de « sérieux » : professeur d'éloquence, éditeur de textes classiques, il fréquente Sulpicius, le réalisateur de l'*editio princeps* de Vitruve. Dans la mesure où il donne des précisions qui ne sont ni chez Vitruve ni ailleurs, on peut considérer qu'il s'agit d'un quatrième témoignage, venant appuyer les trois autres.

En fait, nous pouvons conclure avec assurance de l'ensemble de ces textes que le moulin à eau était adopté à Rome à la fin de la République et peut-être même un peu avant dans le monde grec. Dans l'ignorance où nous sommes des sources dont disposait Pomponius, revenons aux trois premiers textes. Seul le poète de l'*Anthologie Palatine* paraît explicitement considérer la machine comme une nouveauté, mais il faut faire la part de l'exagération poétique, de l'enthousiasme devant une innovation technique qui peut dater déjà de quelques années, voire de quelques dizaines d'années. A l'inverse, l'emploi du mot *hydraulites* seul par Strabon signifie que ses lecteurs savent ce qu'est cette machine. Donc, au moins dans la partie orientale de l'Empire romain (Strabon écrivant sa *Géographie* à Amasée dans la région du Pont-Euxin et s'exprimant en grec, son lectorat est d'abord celui de l'est méditerranéen), le moulin à eau est déjà bien généralisé à la fin du I^{er} siècle a.C. Vitruve ne signale pas non plus le moulin à eau comme un système récent : il le traite comme les autres machines,

12. Julius Pomponius Laetus, *Commentaire au Moretum du pseudo-Virgile*, vers 39 : « Un peu avant Auguste, des moulins à eau, construits pour la première fois à Rome sur le Tibre... ».

dont certaines, nous le savons, sont bien antérieures à son ouvrage. Si 71 a.C. (l'année où Mithridate est chassé de son palais de Cabire) peut être considéré comme le *terminus ante quem* pour l'adoption du moulin à eau, "adoption" ne signifie pas "invention". Peut-on justement dater l'invention du moulin à eau? Il est généralement vain de chercher la date et l'origine précises d'une invention, mais on peut au moins se demander dans quels contextes géographique et temporel cette machine a été imaginée. Une invention mécanique est en effet souvent la mise en conjonction, à un moment donné de l'histoire, de systèmes mécaniques inventés indépendamment.

Le moulin à roue verticale¹³ (celui auquel renvoient les textes de Vitruve et de l'*Anthologie Palatine* – fig.1 page 44) est la conjonction de trois systèmes : le moulin à céréales rotatif, la roue à aubes et les engrenages perpendiculaires. Or ces trois systèmes sont connus bien avant le I^{er} siècle a.C. : le moulin à céréales rotatif manuel est attesté à Carthage depuis le VI^e siècle a.C.¹⁴, le moulin à céréales rotatif animal remonte au moins au début du II^e siècle a.C.¹⁵, la roue à aubes et les engrenages à angle droit sont connus par Philon de Byzance au milieu du III^e siècle a.C.¹⁶. Cette période du Musée d'Alexandrie, centre fécond en inventions mécaniques, pourrait donc être la réponse à la question : dans quels contextes géographique et temporel le moulin à eau a-t-il pu être inventé? Certes aucun des textes ou fragments de textes grecs de l'époque ne mentionne le moulin à eau, mais tout l'intérêt du livre de M.J.T. LEWIS, auquel nous faisons allusion en introduction, est d'ajouter les textes arabes au corpus grec et latin : une partie des traités scientifiques et techniques grecs n'ont en effet été conservés qu'en syriaque ou en arabe. Or, justement, un traité arabe sur « La construction d'un mécanisme de joueur de flûte »¹⁷, qui pourrait être la traduction d'une œuvre d'Apollonios de Perge (deuxième moitié du III^e siècle a.C. – début du II^e siècle a.C.), contient une allusion au moulin à eau. Une petite roue à aubes du mécanisme de l'automate est en effet comparée à celle du

13. Le moulin à eau à roue horizontale (fig.4 page 46) (jamais décrit, jamais représenté pour la période de l'Antiquité classique, mais attesté en Chine dès le III^e siècle de notre ère et en Europe dès le VII^e siècle) a peut-être co-existé avec le moulin à roue verticale dans l'Antiquité : quelques témoignages archéologiques tendraient à le prouver, mais rien n'est assuré. Voir à ce sujet la synthèse de CASTELLA, D., avec la collab. de BEZAT, É. [et al.] (1994), p. 16.

14. Cf. MOREL, J.P. (2001), pp. 241-250.

15. Caton, *Agr.* 10,4 : *molas asinarias* ; 11, 1 : *asinum molarium*.

16. Phil. Byz., *Pneum.* 35.

17. Cf. WIEDEMANN, E. (1970), p. 48-56. Voir au XVIII^e siècle l'automate construit par Vaucanson.

moulin (*raḥā*) *rūmī* ou à celle du « moulin vertical nouvellement inventé », et une roue dentée est comparée à celle qui se trouve dans un moulin à eau (*raḥā l-mā'*). Pour M.J.T. LEWIS, *rūmī* serait une traduction arabe de « byzantin » (= « romain ») et le moulin *rūmī* serait le moulin à roue horizontale. La région de Byzance est en effet reconnue au Moyen-Âge comme ayant beaucoup de moulins à eau et elle aurait été spécialisée dans le moulin à roue horizontale (fig.4 page 46), ainsi que le reste de la Grèce et l'Asie Mineure. Ce moulin *rūmī* serait donc antérieur au « moulin vertical nouvellement inventé » et le territoire de Byzance, qui n'est pas très éloigné de Cabire, la ville de Mithridate, au bord de la mer Noire, aurait pu être le premier centre de production de moulins à eau dans l'Antiquité. Cela expliquerait pourquoi le palais de Mithridate est le premier lieu connu pour l'implantation d'un moulin à eau. Le texte d'Apollonios de Perge (s'il s'agit bien de lui) pourrait même contenir le nom de l'inventeur : il est question en effet d'un « axe *'abdar* », mais « *'abdar* » ne veut rien dire, ni en grec ni en arabe. Ne s'agirait-il pas d'une mauvaise compréhension du nom propre d'origine sémitique « Abdaraxos », qui, d'après M.J.T. LEWIS aurait été le successeur de Ctésibios au musée d'Alexandrie¹⁸ ? L'attribution à Apollonios de Perge du traité sur « La construction d'un mécanisme de joueur de flûte », proposée par M.J.T. LEWIS, est possible : nous ne connaissons le personnage que comme géomètre (l'auteur des célèbres *Coniques*), mais Vitruve le cite dans une liste de savants complets, « ceux à qui la nature a accordé tellement d'habileté, de pénétration et de mémoire qu'ils peuvent connaître à fond la géométrie, l'astronomie, la musique et toutes les autres disciplines »¹⁹ ; surtout il le cite juste après Archytas de Tarente, célèbre philosophe pythagoricien, connu aussi pour s'être intéressé à la mécanique et avoir contruit une colombe volante en bois. Les trois seuls manuscrits originaux qui transmettent ce traité l'attribuent à Apollonios « le charpentier et géomètre », et al-Ġazarī (fin XII^e, début XIII^e siècle p.C.), le seul auteur à faire allusion à cette œuvre dans la littérature arabe, parle d'un Apollonios « le charpentier, l'Indien (*hindī*) ». Or « charpentier » est une appellation grecque pour « mécanicien » et le *hindī* d'al-Ġazarī pourrait être une

18. LEWIS, M. J. T., (1997), p. 60-61. Toutefois, d'après *The Encyclopedia of Ancient Natural Scientists* (ed. by KEYSER P. T. & IRBY-MASSIE, G. L. (2008) Londres / New-York : Routledge), un seul Abdaxaros est attesté comme auteur de traités mécaniques à Alexandrie (*Papyri graecae berlinenses*, Berlin, 1911, ed. Wilhelm SCHUBART, P-13044, col.8.) et il est daté de 330-325 a.C., donc antérieur à Ctésibios (290-250 a.C.).

19. Vitruv. 1, 1, 17.

simple erreur de transcription d'*handasī*, signifiant le « géomètre »²⁰. L'identification n'est toutefois pas assurée (le nom d'Apollonios est courant dans l'Antiquité) et au moins un élément fait difficulté : le « wāw » est utilisé dans les schémas, or, pour M.J.T. LEWIS lui-même, la présence de cette lettre dans un traité arabe est la marque d'un traité écrit originellement en arabe ; les auteurs grecs et les auteurs arabes traduisant des textes grecs ne l'utilisent pas. Si l'on veut attribuer « La construction d'un mécanisme de joueur de flûte » à Apollonios de Perge, il faut donc admettre que le texte, ou tout au moins les schémas, ont été partiellement remaniés à une époque tardive.

Il serait nécessaire d'aller encore plus loin dans l'étude des textes scientifiques et techniques arabes pour affiner nos connaissances sur la technologie grecque et romaine mais une double conclusion partielle s'impose au vu de l'étude des sources littéraires : le moulin à eau est bien connu dans le monde antique au I^{er} siècle a.C.²¹ et son invention est donc antérieure. Il est possible qu'elle remonte au III^e siècle a.C., avec Byzance comme lieu d'éclosion pour le moulin à roue à aubes horizontale, Alexandrie pour le moulin à roue à aubes verticale.

L'archéologie et l'adoption du moulin à eau.

Aujourd'hui, l'archéologie, en accord avec les textes, fait remonter la date d'adoption du moulin à eau dans l'Empire romain bien en amont du IV^e siècle p.C. et sur une échelle bien plus vaste qu'on ne le pensait auparavant. En effet, si le nombre de témoignages littéraires est sensiblement resté stable, celui des témoignages archéologiques s'est accru et continue de s'accroître considérablement. En 2003, J. P. BRUN relevait 69 unités minotières antiques²². Toutefois un catalogue archéologique, aussi complet soit-il, ne peut donner une datation absolue car les sites favorables à l'implantation d'un moulin à eau sont en nombre limité et des installations tardives ont souvent dû prendre la place d'installations

20. LEWIS, M.J.T. (1997), p. 49.

21. Pline (*Nat.* 18, 23), au milieu du I^{er} siècle p.C., confirme du reste que l'on se sert de roues à eau pour piler le grain dans la plus grande partie de l'Italie, même si le texte n'est pas facile à interpréter (l'action de piler – *pistura* – n'est pas l'équivalent de l'action de moudre) : *Pistura non omnium facilis... Maior pars Italiae nudo utitur pilo, rotis etiam, quas aqua verset, obiter et mola*, « Tous les grains ne sont pas faciles à piler... La plus grande partie de l'Italie utilise le pilon simple, les roues que l'eau fait tourner et évidemment la meule ».

22. BRUN, J.-P. (2006). Voir aussi WILSON, A. (2002), p. 10.

anciennes, sans que ces dernières n'aient laissé une trace quelconque. De plus, les installations sont souvent légères, avec une prédominance du bois (c'est le cas par exemple du moulin d'Avenches, cf. *infra*), et il n'est pas rare que seules les meules subsistent. Or justement, l'étude des meules a fait d'immenses progrès ces dernières années, avec notamment la définition d'une typologie permettant de repérer les meules qui appartenaient à des installations hydrauliques²³. D'une part ces meules ont toujours un diamètre important, supérieur à 60 cm, et d'autre part, la meule dormante est nécessairement percée de part en part.

Le moulin hydraulique de l'Yèvre, près de Bourges, semble être le plus ancien témoignage archéologique repéré à ce jour : sa construction est attribuable à l'époque augustéenne et son fonctionnement s'interrompt apparemment avant le milieu du I^{er} siècle p.C.²⁴. En termes d'ancienneté, il est suivi de près par celui reconnu à Avenches en Suisse, daté de 57/58 p.C. et abandonné vers 80²⁵. Des moulins du II^e siècle p.C. sont connus en Germanie et en Gaule. Dans la partie orientale de l'Empire, des inscriptions font état de taxes sur les revenus des moulins à eau à Beroe en Macédoine, au II^e siècle p.C., et d'une corporation de meuniers à Hiéropolis en Phrygie, vers 200 p.C.²⁶

Les deux grandes installations minotières connues pour le monde romain, celle du Janicule à Rome et celle de Barbegal dans le sud de la France, ont aussi vu leur datation remonter le temps. Cela montre que le moulin à eau fut vite adopté pour les productions de masse : les capacités de ces installations avec des moulins à eau dépassaient très largement celles qui étaient offertes par les installations avec des moulins manœuvrés par des hommes ou des animaux (ce que l'on appelle « les moulins à sang »). La meunerie de Barbegal (fig.5 page 47) est installée sur la pente d'un vallon au nord-est d'Arles, sur la branche d'un aqueduc alimentant cette ville. Cet ensemble important, de 61 m sur 20 m, est composé de deux séries parallèles de huit moulins. On estime sa production à 4,5 tonnes de farine par jour, ce qui permet d'assurer une fourniture journalière de

23. Des travaux sont notamment menés par le groupe « meule » de l'École Normale Supérieure de Paris (<http://www.archeo.ens.fr/spip.php?article333>) et la thèse de S. LONGEPIERRE, *Les meules à grains et les meulières dans le Sud-Est de la France du IV^e siècle avant J.-C. au XII^e siècle après J.-C.*, soutenue en 2011 sous la direction de X. LAFON, a permis un bon éclaircissement de la problématique.

24. CHAMPAGNE, F., FERDIÈRE, A. & RIALLAN, Y. (1997). Des pales de roues à aubes ainsi que les traces d'un bief ont été retrouvées. Il n'y a pas de restes de meules : il n'est donc pas exclu que ce moulin à eau ait eu une autre fonction que celle de la production de farine.

25. Cf. CASTELLA, D. (1994).

26. Cf. WILSON, A. (2002), p. 11.

350 grammes à 12 500 personnes, soit environ la population de l'Arles antique à son apogée. Il aurait fallu quatre-vingts moulins pompéiens (soit cinq fois plus de moulins à sang que de moulins à eau) fonctionnant sur la même durée, pour fournir la même quantité de farine, avec en plus la nécessité de payer, d'entretenir, d'alimenter les animaux et leurs conducteurs²⁷. Depuis les fouilles de F. BENOIT en 1940, ces moulins étaient datés du IV^e siècle p.C.²⁸, mais les travaux menés par Ph. LEVEAU ont montré qu'ils ont probablement été construits sous Trajan²⁹. Rome possédait le même type d'installation sur le Janicule, dans le secteur qui correspond aujourd'hui à l'académie américaine, où deux coursiers (des canaux d'arrivée d'eau) étaient alimentés par l'*Aqua Alsietina* ou l'*Aqua Traiana*³⁰ : quatre moulins avec roue propulsée par dessous étaient installés sur le coursier nord et un moulin avec une très grande roue sur le coursier sud. D'autres installations devaient exister dans ce secteur et l'importance prise par les moulins du Janicule explique le curieux écart de la muraille d'Aurélien à cet endroit (cf. fig.6 page 47). Procope le dit expressément dans un passage méconnu et peu cité :

Je vais dire de quelle manière les Romains ont construit le rempart de la ville sur les deux côtés du fleuve. Autrefois le Tibre coulait ici [i.e. près de la porte Transtibérine] essentiellement le long de l'enceinte. Le terrain où l'enceinte s'approche du fleuve est plat et très facile d'accès. En face de ce terrain, de l'autre côté du Tibre, il se trouve qu'il y a une grande colline [i.e. le Janicule] sur laquelle furent installés il y a longtemps tous les moulins de la ville, étant donné qu'à cet endroit beaucoup d'eau est amenée par un canal au sommet de la colline et qu'elle dévale la pente avec un fort courant. C'est pourquoi les anciens Romains résolurent d'entourer d'un rempart le versant de la colline qui donne sur le fleuve pour que les ennemis n'aient pas la possibilité de détruire les moulins...³¹

27. Cette estimation est fondée sur une vitesse de rotation de six tours par minute pour le moulin pompéien et de trente tours par minute pour le moulin à eau. Cf. WILSON, A. (2002), p. 12.

28. BENOIT, F. (1940).

29. LEVEAU PH. (2008).

30. Bien que l'*Aqua Traiana* soit souvent mentionnée comme source d'alimentation des moulins du Janicule dans les études modernes, il est plus vraisemblable qu'il s'agisse de l'*Aqua Alsietina*. Nous savons en effet par Frontin (*Aq.* 11,1) que l'eau de l'*Aqua Alsietina* était de mauvaise qualité pour la consommation humaine (*parum salubrem*) et que cet aqueduc avait probablement eu comme objectif principal, à l'origine, d'alimenter la naumachie d'Auguste située dans le quartier du Trastevere, au pied du Janicule. Après l'abandon de la naumachie et des bassins eux-mêmes (au plus tard avant la fin du I^{er} siècle p.C.), il est naturel que cet aqueduc ait servi à l'irrigation des jardins et à la propulsion des moulins à eau.

31. Procop., *Goth.*, 5, 19, 8-19 : Ὀντινα δὲ τρόπον Ῥωμαῖοι τοῦ ποταμοῦ ἐφ' ἐκάτερα τὸ τῆς πόλεως τεῖχος ἐδείμαντο ἐρῶν ἔρχομαι. Πάλαι μὲν ὁ Τίβερις παραρρέων ἐπὶ πλείστον

Du coup, l'opinion selon laquelle ces moulins n'avaient été construits que peu de temps avant leur première mention dans les *Régionnaires*, en 398 p.C., ne tient plus puisque la muraille d'Aurélien fut construite entre 272 et 282 p.C. Ces moulins auraient pu être construits sous Alexandre Sévère (entre 222 et 235 p.C.) si l'on se fonde sur le texte de l'*Histoire Auguste* où il est dit que cet empereur construisit *opera mechanica plurima*³² : le contexte de cette citation incite fortement à interpréter ces *opera mechanica* comme des moulins à eau³³.

Le moulin à eau décrit par Vitruve au I^{er} siècle a.C.

On ne saurait être complet sur la question de l'invention du moulin à eau sans revenir sur le texte de Vitruve cité au début de cet article. L'auteur du *De architectura* est chronologiquement peu éloigné de l'adoption de cette technologie à Rome et il est un témoin de la première forme qu'elle a prise dans ses applications³⁴. Vitruve est un ingénieur public, donc un homme compétent, en particulier dans le domaine de l'hydraulique, puisque il semble avoir eu des responsabilités au service des eaux. C'est probablement de lui dont il est question dans un passage de Frontin sur l'introduction à Rome d'un nouveau calibre pour les tuyaux d'adduction d'eau (bien qu'il ait pu y avoir plusieurs architectes du nom de Vitruve) : « Ensuite, un calibre étalon, qui n'est fondé ni sur l'once ni sur aucun des deux pouces, et introduit, pensent certains par Agrippa, d'autres pensent par les fabricants de tuyaux de plomb et l'intermédiaire de l'architecte Vitruve, est venu en usage à Rome à l'exclusion des précédents : on l'appelle du nom de *quinaria* »³⁵. Or le texte de Vitruve sur le moulin à eau est généralement mal interprété. Il est pourtant précis ; seules les meules ne sont pas décrites,

τοῦ περιβόλου ἐφέρετο τῆδε. Ὁ δὲ χώρος οὗτος, ἐφ' οὗ ὁ περίβολος κατὰ τὸν ροῦν τοῦ ποταμοῦ ἀνέχει, ὑπτιός τε καὶ λίαν εὐέφοδός ἐστι. Τοῦτου τε ἀντικρὺ τοῦ χώρου, ἐκτὸς τοῦ Τιβέριδος, λόφον τινὰ μέγαν ξυμβαίνει εἶναι, ἐνθα δὴ οἱ τῆς πόλεως μύλωνες ἐκ παλαιοῦ πάντες πεποίηγται, ἅτε ὕδατος ἐνταῦθα πολλοῦ διὰ μὲν ὄχρετοῦ ἀγομένου ἐς τὴν τοῦ λόφου ὑπερβολὴν, ἐς τὸ κάταντες δὲ ξὺν ῥύμῃ μεγάλῃ ἐνθένδε ἰόντος. Διὸ δὴ οἱ πάλαι Ῥωμαῖοι τὸν τε λόφον καὶ τὴν κατ' αὐτὸν τοῦ ποταμοῦ ὄχθην τεῖχει περιβαλεῖν ἔγνωσαν, ὡς μήποτε τοῖς πολεμίοις δυνατὰ εἴη τοὺς τε μύλωνας διαφθεῖραι...

32. *Hist. Aug., Alex.* 22, 4.

33. C'est l'interprétation privilégiée par COARELLI, F. (1987), particulièrement p. 447-449.

34. LEWIS, M. J. T. (1997) émet l'hypothèse que Vitruve ne fait que reprendre ici les écrits de Philon de Byzance, mais cela nous paraît très peu vraisemblable.

35. Front., *Aq.* 25, 1 : *postea modulus nec ab uncia nec ab alterutro digitorum originem accipiens, inductus, ut quidam putant, ab Agrippa, ut alii, a plumbariis per Vitruvium architectum, in usum urbis exclusis prioribus uenit, adpellatus quinariae nomine; voir aussi Aq. 25, 2 : qui autem Agrip-*

mais elles peuvent être aisément restituées d'après celles qui ont été retrouvées : ce sont deux pierres rondes placées l'une au-dessus de l'autre. La pierre inférieure (fig.1 page 44, E') est immobile, elle possède une face supérieure convexe et est percée en son milieu pour laisser passer l'axe qui va du système moteur à la pierre supérieure (fig.1 page 44, E) qui est mobile. Cette dernière possède une face inférieure concave qui s'adapte précisément à la face convexe de la pièce immobile. Elle est également percée en son milieu pour recevoir le moyeu de l'axe moteur, engagé à queue d'aronde ou fixé avec un système de crampons (l'anille). Ce même trou de la meule supérieure laisse passer les grains qui sont versés à partir d'une trémie (fig.2 page 45, F). Le texte de Vitruve présente surtout une caractéristique technique qui a paru étonnante aux commentateurs : la vitesse de la roue à aubes est démultipliée et non multipliée. La roue verticale qui est fixée sur l'axe de la roue à aubes est en effet plus petite que la roue horizontale sur laquelle elle engrène : « à une extrémité de l'axe (fig.1 page 44, A) est emboîté un tambour denté (fig.1 page 44, B) ; ce tambour, placé verticalement, de chant, tourne de concert avec la roue (fig.1 page 44, C). Contre lui est disposé, horizontalement, un tambour **plus grand** (fig.1 page 44, D), également denté (*maius item dentatum planum*), sur lequel il engrène³⁶ ». Cette prescription est en contradiction avec les principes de construction des moulins à eau en usage jusqu'au siècle dernier, dans lesquels la roue horizontale (la lanterne) est plus petite que la roue verticale. Aussi, la plupart des éditeurs et des commentateurs n'ont pas respecté son texte. Fra Giocondo de Vérone, le premier éditeur d'un *De architectura* illustré (1511), est aussi le premier coupable : il maintient le texte de Vitruve (il est difficile de faire autrement car les manuscrits sont unanimes...), mais il représente le tambour horizontal (la lanterne) plus petit que le tambour vertical, sans commentaire, probablement parce que c'est la solution la plus souvent adoptée à son époque comme dans les siècles suivants. Il sera suivi par tous les illustrateurs de Vitruve jusqu'à l'époque mo-

pam auctorem faciunt... qui Vitruvium et plumbarios, « Ceux qui l'attribuent à Agrippa..., ceux qui l'attribuent à Vitruve et aux plombiers... ». Sur Vitruve et l'hydraulique, voir l'introduction et le commentaire de CALLEBAT, L. dans son édition du Livre VIII du *De architectura* (Collection des Universités de France, Paris : Les Belles Lettes, 1973 ; sur la carrière de Vitruve dans son ensemble, voir FLEURY, PH. (2011).

36. Vitr. 10, 5, 2 : *Secundum id, tympanum maius item dentatum planum est conlocatum quo continetur.*

derne, pratiquement sans exception³⁷. C. Perrault, en 1684, va plus loin que Giocondo : il change *maius* en *minus* dans le texte de Vitruve. Une partie des éditeurs ultérieurs de Vitruve suivront son exemple (Galvani, Maufras), d'autres ajouteront *minus* après *maius* (Rose dans sa deuxième édition, Krohn), d'autres encore penseront que le texte est elliptique (Granger, Fensterbusch) et que Vitruve a bien voulu dire que la roue dentée verticale était plus grande que la roue dentée horizontale. C. Maufras en 1847 par exemple, reprend le commentaire de C. Perrault : « D'après les principes de la mécanique, cette seconde roue, placée horizontalement doit être plus petite que celle qui la fait mouvoir ; autrement la meule tournerait plus lentement que la roue qui va dans l'eau, ce qui ne doit pas être »³⁸. La réalité archéologique, plus exactement les tailles des puits d'engrenages conservés, confirment pourtant à différents endroits que la configuration exposée par Vitruve a bien existé. A l'Auribelle, par exemple, au II^e siècle p.C. (110-130 p.C.)³⁹, il apparaît que la roue horizontale est plus grande que la roue verticale ; aux Mesclans, au II^e siècle p.C., les deux roues ont sensiblement la même taille⁴⁰. La vitesse optimale de rotation des meules dépend en fait du type de pierre utilisée, de la forme qui lui est donnée, du type de grain à moudre et du type de farine recherché⁴¹ ; or cette vitesse se règle avec différents paramètres : force du courant et diamètre de la roue à aubes notamment. Le rapport entre le diamètre de la roue verticale et celui de la roue horizontale n'est qu'un de ces paramètres. Si les contemporains de Vitruve choisissaient de ne pas multiplier la vitesse de rotation de l'axe de la roue à aubes, ce peut être parce qu'ils utilisaient des roues à aubes de faible diamètre (la roue retrouvée à Venafro, en Italie, ne mesure que 1,85 m de diamètre et le diamètre des roues à aubes de Bargal est estimé à 2,10 m) et donc que l'axe tournait plus vite que dans une roue à aubes de grand diamètre. Ce peut être aussi parce qu'ils étaient habitués à la rotation lente des moulins à sang, le moulin de type pompéien en particulier. Les figures 1 à 3 présentent une restitution la plus fidèle possible du mécanisme décrit par Vitruve⁴². Le mode d'engrenage des roues dentées n'est pas précisé

37. Même MORITZ, L.A. (1958), *Grain-mills and Flour in classical Antiquity*, Oxford : Clarendon Press, suit cette interprétation et son schéma est souvent réutilisé dans les travaux récents.

38. Vitruve, *L'architecture*, éd. et trad. par MAUFRAS, C. (1847), t.2, p. 533 n. 49.

39. MAUNE, S., BOURGAUT, R. & PAILLET, J.-L. avec la coll. de LONGEPIERRE, S. et de MARCHAND, G. (2008).

40. BRUN, J.-P. & BORREANI, M. (1998).

41. Sur ces questions de vitesse de rotation des meules, voir GOMET, G. (1992).

42. D'autres images et une animation sont disponibles sur le site www.unicaen.fr/ersam.

par l'auteur du *De architectura*. Il se contente d'utiliser l'expression *tympanum dentatum* ("tambour denté") pour les deux roues (verticale et horizontale), expression qu'il utilise aussi pour l'hodomètre, un compteur de distance sur terre et sur mer, au chapitre IX du même livre. Nous avons choisi de représenter une roue dentée verticale avec des alluchons (des dents) et une lanterne horizontale avec des fuseaux, car c'est un mode d'engrenage connu dans les moulins à eau ou dans les moulins à vent "modernes", mais l'engrenage décrit par Vitruve peut aussi être fait de deux roues à alluchons.

L'invention du moulin à eau pourrait donc remonter au III^e siècle a.C. Il est en tout cas adopté dans l'est du bassin méditerranéen au moins dans la première moitié du I^{er} siècle a.C. et à Rome même dans la deuxième moitié du I^{er} siècle a.C. au plus tard. La technique a connu une large diffusion dans le monde romain dès le I^{er} siècle p.C. et les premières installations « industrielles » se développent dès le début du II^e siècle p.C. Pour le moulin à roue verticale, le seul pour lequel nous parvenons à réunir une documentation suffisante⁴³, le mécanisme restera sensiblement le même au cours des âges, mais avec une particularité du système décrit par Vitruve : des meules à rotation lente.

Bibliographie

AMOURETTI, M.-C. (1987), « La diffusion du moulin à eau dans l'antiquité, un problème mal posé » in André DE RÉPARAZ (éd.), *L'eau et les hommes en Méditerranée*, Paris : CNRS, p. 13-23.

BENOIT, F. (1940), "L'usine de meunerie hydraulique de Barbegal", *Revue Archéologique*, 15, p. 19-80.

BRUN, J.-P. (2006), « L'énergie hydraulique dans le monde romain : quel impact sur l'économie agricole ? », in *Innovazione tecnica e progresso economico nel mondo romano*, Atti degli incontri capresi di storia dell'economia antica (Capri 13-16.4.2003), a cura di Elio LO CASCIO, Bari : Edipuglia, p. 101-130.

BRUN, J.-P. & BORREANI, M. (1998), « Deux moulins hydrauliques du Haut-Empire romain en Narbonnaise : "villae" des Mesclans à La Crau et de Saint-Pierre/Les Laurons aux Arcs (Var) », *Gallia*, 55, p. 279-326.

43. Cf. AMOURETTI, M.-C. (1987) pour la question de la répartition géographique des moulins à roue horizontale et des moulins à roue verticale.

CASTELLA, D., avec la collab. de BEZAT, É. [et al.] (1994), *Le moulin hydraulique gallo-romain d'Avenches «En Chaplix» : fouilles 1990-1991*, Lausanne : Cahiers d'archéologie romande.

CHAMPAGNE, F., FERDIERE, A. & RIALLAND, Y. (1997), « Re-découverte d'un moulin à eau augustéen sur l'Yèvre (Cher) », *Revue archéologique du Centre de la France*, 36, p. 157-160.

COARELLI, F. (1987), « La situazione edilizia di Roma sotto Severo Alessandro » in *L'urbs : espace urbain et histoire (I^{er} s. ap. J.-C.)*, actes du colloque international organisé par la Centre national de la recherche scientifique et l'École française de Rome (Rome, 8-12 mai 1985), Rome / Paris : École française de Rome / De Boccard, p. 429-456.

FLEURY, PH. (2011), « Vitruve et le métier d'ingénieur », *Cahiers d'Etudes Anciennes* 48, p. 7-34.

GILLE, B. (1954), « Le moulin à eau. Une révolution technique médiévale », *Techniques et civilisations*, 13, vol. 3, 1, p. 1-15.

GOMET, G. (1992), *Le Paysan et son outil. Essai d'histoire technique des céréales (France, VII-XV^e s.)*, Collection de l'École Française de Rome, 165, Paris : De Boccard, p. 416-437.

KEYSER P. T. & IRBY-MASSIE, G. L. (ed.) (2008), *The Encyclopedia of Ancient Natural Scientists*, Londres / New-York : Routledge.

LEVEAU PH. (2008), « Les moulins de Barbegal. 1986-2006 », in BRUN J.P. et FICHES J.-L., *Energie hydraulique et machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité*, Actes du Colloque international organisé par l'Etablissement public de coopération culturelle Pont du Gard, l'UMR 5140 du CNRS « Archéologie des sociétés méditerranéennes » et le Centre Jean-Bérard (UMS 1797 du CNRS/EFR) à Vers-Pont-du-Gard, 20-22.9.06, Paris : De Boccard, p. 185-199.

LEWIS, M.J.T. (1997), *Millstone and Hammer. The Origins of Water Power*, Hull : The University of Hull Press.

MAUNE, S., BOURGAUT, R. & PAILLET, J.-L. avec la coll. de LONGEPIERRE, S. et de MARCHAND, G. (2008), « Un moulin hydraulique du II^e siècle dans l'établissement de L'Auribelle-Basse (Pézenas, Hérault) », in BRUN, J.-P. & FICHES, J.-L., *Energie hydraulique et machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité*, Actes du Colloque international organisé par l'Etablissement public de coopération culturelle Pont du Gard, l'UMR 5140 du CNRS "Archéologie des sociétés méditerranéennes" et le Centre Jean-Bérard (UMS 1797 du CNRS/EFR) à Vers-Pont-du-Gard, 20-22.9.06, Paris : De Boccard, p. 115-148.

MOREL, J.P. (2001), « Aux origines du moulin rotatif? Une meule circulaire à la fin du IV^e s. avant notre ère à Carthage », in BRUN J.-P. & JOCKEY PH. éd., *Techniques et sociétés en Méditerranée : travaux du Centre Camille Julian*, volume publié en hommage à Marie-Claire Amouretti, Paris : Maisonneuve et Larose.

MORITZ, L.A. (1958), *Grain-mills and Flour in classical Antiquity*, Oxford : Clarendon Press

SCHIOLER, TH. & WIKANDER, O. (1983), "A Roman water-mill in the baths of Caracalla", *Opuscula Romana*, 14, 1983, p. 47-64.

WIEDEMANN, E. (1970), *Aufsätze fur arabischen Wissenschaftgeschichte*, New York : Hidesheim, II

Wikander, O. (1979), "Water-mills in ancient Rome", *Opuscula romana (Acta Inst. Rom. Regni Sueciae)*, 12, p. 13-35.

ID. (1984), *Exploitation of Water-Power or Technological Stagnation? A Reappraisal of the Productive Forces in the Roman Empire*, Lund : Gleerup.

WILSON, A. (2002), "Machines, Power and the Ancient Economy", *Journal of Roman Studies*, 92, p. 1-32.

Figures

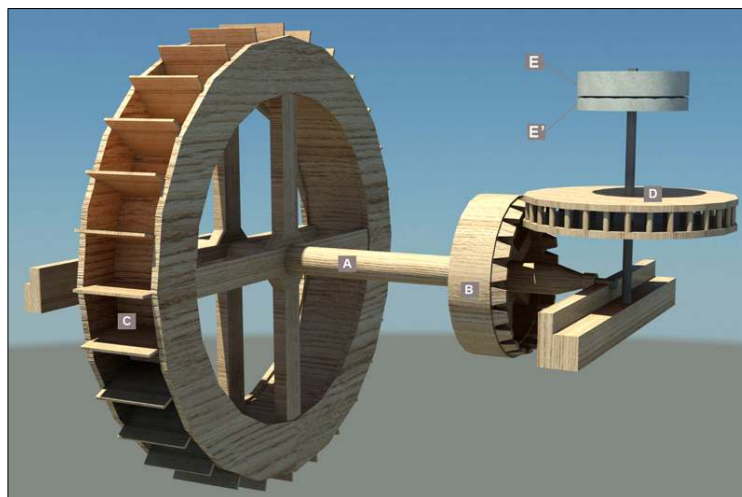


FIGURE 1 – Le mécanisme du moulin à eau décrit par Vitruve (UCBN – Plan de Rome)



FIGURE 2 – Le moulin à eau décrit par Vitruve, vue extérieure (UCBN – Plan de Rome)



FIGURE 3 – Le moulin à eau décrit par Vitruve, vue éclatée (UCBN – Plan de Rome)

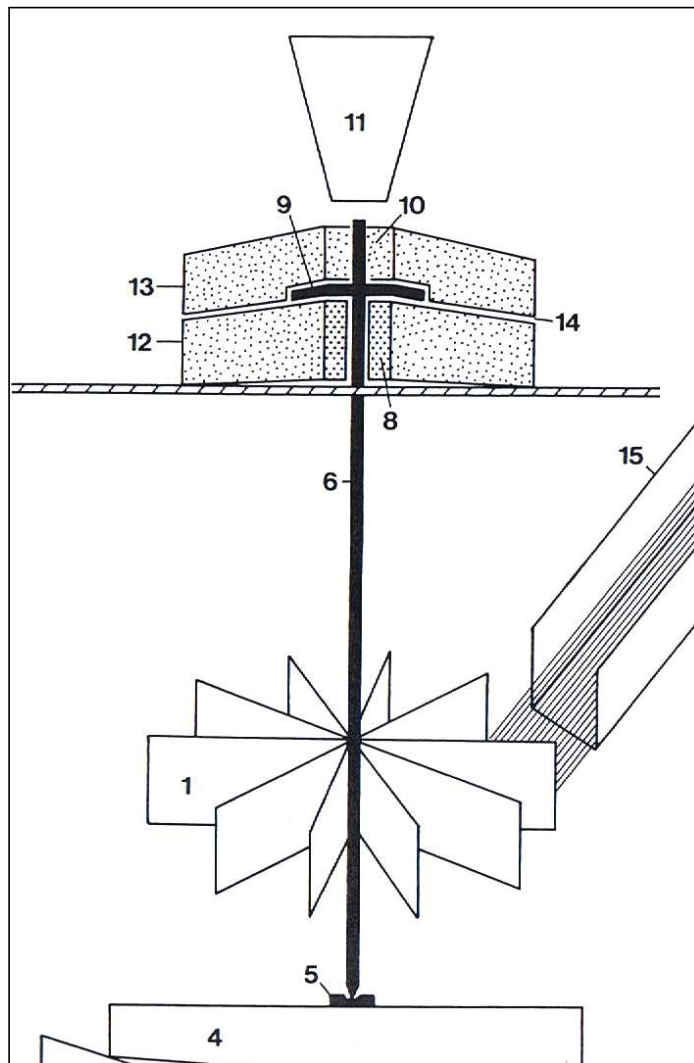


FIGURE 4 – Le moulin à roue horizontale⁴⁴

44. CASTELLA D., avec la collab. de É. Bezat [et al.], *Le moulin hydraulique gallo-romain d'Avenches « En Chaplix » : fouilles 1990-1991*, Lausanne, Cahiers d'archéologie romande, 1994, fig. 3 p. 15.



FIGURE 5 – La meunerie de Barbegal

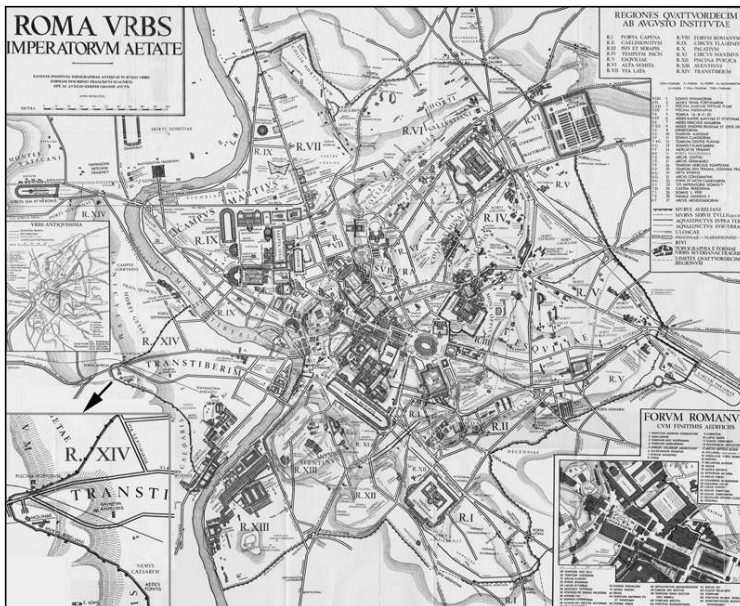


FIGURE 6 – Le « détour de la muraille » d'Aurélien sur le Janicule ⁴⁵

45. D'après la carte de SCAGNETTI, F. & GRANDE, G., *Roma Urbs Imperatorum Aetate*, Rome, Quasar, 1979..

L'orgue et le volcan : quand la machine explique la nature

Frédéric LE BLAY
Université de Nantes

Du locus poeticus à la quaestio naturalis

Je souhaiterais présenter, dans le cadre de cette séance scientifique, quelques réflexions relatives à l'emploi d'une analogie mécaniciste dans un texte dont je prépare la réédition assortie d'un commentaire, le poème latin sur l'Etna¹. Long de 640 hexamètres dactyliques environ, selon les manuscrits qui le transmettent², ce poème didactique peut être défini comme « un essai de vulgarisation scientifique analogue au *De natura rerum*, aux *Phaenomena* d'Aratos traduits par Cicéron, aux *Astronomica* de Manilius. Il a ceci de commun avec les autres, surtout avec le poème de Lucrèce, que l'auteur veut, lui aussi, paraître savant et dégagé des préjugés vulgaires, qu'il critique amèrement les croyances populaires, traite de menteur les poètes qui s'en inspirent ou les répandent et s'assigne la noble tâche de ne dire que le vrai et de délivrer les esprits des craintes superstitieuses. »³

Sa finalité est de faire sortir les volcans des domaines de la mythologie et de la littérature, auxquels ils appartiennent dans une longue tradition, pour les faire entrer dans celui du savoir rationnel. L'Etna, volcan emblématique, représente en effet de longue date un lieu commun poétique : déjà mentionné chez Homère, il réapparaît à de multiples reprises dans la littérature épique et chez les poètes en général⁴. Dans son traité *Du sublime*, le pseudo-Longin, énumé-

1. Les éditions de référence sont à ce jour celles de : SUDHAUS, S. (1898, Bibliotheca Teubneriana, Leipzig), ELLIS, R. (1901, Clarendon Press, Oxford, avec commentaire), RICHTER, W. (1963, De Gruyter, Berlin), GOODYEAR, F. R. D. (1965, Cambridge University Press, Cambridge, avec commentaire), DE VIVO, A. (1987, Loffredo, Napoli). L'édition de la Collection des Universités de France (1923, 1961²) reprend l'édition commentée de J. VESSEREAU parue chez A. Fontemoing éditeur (Paris) en 1905 mais fait disparaître le commentaire, qui était pourtant la partie la plus aboutie de ce travail. Concernant l'édition en préparation, une première approche est donnée dans notre contribution LE BLAY, F. (2006).

2. Le texte est lacunaire et son établissement s'avère problématique à de multiples égards.

3. Citation extraite de la notice introductive par VESSEREAU.

4. Cf. FOULON, A. (2004). Sur la question des volcans d'ans l'Antiquité gréco-romaine, cf. FOULON, É. (éd.) (2004).

rant les grandeurs de la nature qui emportent l'admiration, mentionne, avec les grands fleuves, l'Océan, les feux du ciel, « les cratères de l'Etna, dont les émissions projettent des roches depuis ses profondeurs, et des montagnes entières, et parfois déversent des fleuves de ce feu fameux né de la terre et qui ne suit que sa propre loi »⁵.

Du point de vue de la tradition latine, cette composition s'inscrit incontestablement dans une lignée ouverte par Lucrèce; certains commentateurs ont ainsi voulu voir dans ce poème didactique un traité d'obéissance épicurienne⁶. Si l'inspiration lucrétienne est incontestable, la doctrine épicurienne ne paraît en revanche pas constituer le fonds théorique principal de ce traité⁷. Il s'agit bien en tous les cas, du seul traité de vulcanologie antique transmis jusqu'à nous. L'Etna étant le représentant par excellence de tous les volcans pour les Anciens, ce traité traite en effet du phénomène volcanique en général même s'il le fait à travers cet exemple emblématique. Théophraste comme Poseidonios ont pu lui fournir une partie de ses éléments théoriques alors que les grands traités de météorologie que nous connaissons, les *Météorologiques* d'Aristote et l'*Enquête sur la nature* de Sénèque, sont étrangement silencieux sur ce sujet des volcans, qui devaient pourtant faire partie, au même titre que les tremblements de terre dont ils parlent abondamment, des grandes questions que l'étude de la nature ne manquait pas poser. Seul le chant VI de Lucrèce, qui s'apparente par son programme à un compendium de météorologie épicurienne, consacre un exposé à l'Etna⁸. On comprend aisément la tentation de vouloir faire de l'*Aetna* un épigone du *De natura rerum*.

Un poème en quête d'auteur

Ce texte représente un cas d'école philologique, tant la question de son attribution a donné lieu à de nombreuses hypothèses. Son caractère unique et original dans la littérature conservée rend la question d'autant plus cruciale et passionnante. Il ne m'est pas possible ici de reprendre tous les aspects d'un débat ancien; je me contenterai d'en résumer l'essentiel en renvoyant à mes travaux publiés pour le détail. Une longue tradition, qui remonte à Donat et

5. XXXV, 4, trad. PIGEAUD, J. (1993, Rivages Poche-Petite bibliothèque Payot, Paris).

6. DE LACY, Ph. (1943).

7. Je renvoie à LE BLAY, F. (2006) pour l'analyse des sources théoriques.

8. vv. 639-711.

Servius, fait de Virgile l'auteur de ce texte, qui figure ainsi dans certaines versions de l'*Appendix Vergiliana*. Cette attribution n'est pas impossible mais reste assez improbable. Dans son édition de l'*Appendix* de 1572 (Lyon), Scaliger rejetait déjà l'hypothèse virgilienne et renvoyait à Cornelius Severus, mentionné par Sénèque (*Ad Luc.*, 51) comme l'un des poètes connus pour avoir composé sur l'Etna. D'autres ont proposé Lucilius, lui-même⁹. Cette attribution est vraisemblable au vu de certains propos tenus par Sénèque dans ses *Lettres*, qui sont d'ailleurs à l'origine de l'hypothèse avancée, comme au vu de l'époque à laquelle le poème paraît avoir été composé ; elle reste néanmoins impossible à vérifier. Je passe sur les autres attributions invoquées, Claudien, Manilius, et même Pétrone, qui sont plus que douteuses.

Je me contenterai donc de reprendre les points saillants de mes suggestions en vue d'une attribution : sur le plan doctrinal et théorique, l'auteur semble avoir subi l'influence des écrits météorologiques de Poseidonios, ce qui ne fait pas nécessairement de lui un sectateur du Portique tant les écrits du scholarque d'Apamée ont influencé la pensée des savants et des philosophes romains du Ier siècle ; il a dû être composé entre 40 et 70 ap. J.-C., voire 79 si l'on souhaite repousser la chronologie, cette date constituant le *terminus ante quem* indiscutable au vu des événements dramatiques qui frappèrent les esprits cette année là et pour les générations qui suivirent, bien au-delà des rivages campaniens, et dont le poème ne touche mot.

Une analogie mécaniciste

J'en viens au sujet propre à cet exposé : les vers 281-327 proposent une série de comparaisons pour expliquer et l'origine des vents renfermés au sein de la terre et les effets violents que leurs mouvements peuvent produire. C'est en effet une étiologie pneumatique que l'auteur privilégie, à l'instar de Lucrèce et de Sénèque, dans le livre qu'il consacre aux tremblements de terre (*Naturales quaestiones*, VI)¹⁰. Les vers 292-299 offrent une comparaison mécaniciste avec les instruments destinés à produire du son ou de la musique. Je donne ici le texte de cette comparaison :

9. Cf. HERRMANN, L. (1958).

10. Cette association montre bien que l'étiologie ne permet pas de trancher avec fermeté la question de l'appartenance doctrinale de ce poème puisque stoïciens et épicuriens se rejoignent sur l'origine pneumatique des séismes et de bien d'autres phénomènes météorologiques.

*Nam ueluti sonat ora diu Tritone canoro,
pellit opus collectus aquae uictusque moueri
spiritus et longas emugit bucina uoces;
carmineque irriguo magnis cortina theatri
imparibus numerosa modis canit arte regentis,
quae tenuem impellens animam subremigat unda :
haud aliter summota furens torrentibus aura
pugnat in angusto et magnum commurmurat Aetna.*

Le premier vers de cette comparaison (292) donne lieu à différentes leçons : *ore diu* | *hora duci* | *hora deo* | *hora deis* | *hora die*. Le terme *ora* désignerait un rivage ; *hora* renverrait à une horloge annonçant l'heure. L'un des éditeurs¹¹ propose la lecture suivante, plus explicite : *urna ciens Tritona canorum* : le vers ferait alors allusion à un vase destiné à accueillir et porter un Triton sonore. Quelle que soit la leçon retenue, la concision comme l'obscurité de ce passage ont suscité l'intérêt des éditeurs et commentateurs. Le style d'ensemble de ce texte est marqué par un caractère concis et souvent allusif et l'on trouve sans doute dans ce passage une allusion plus évidente pour les contemporains. J. VESSEREAU propose la traduction suivante, que je retiens pour lors :

Voyez en effet ce qui se passe lorsque sur une rive l'écho retentit longuement du bruit sonore du Triton ; l'instrument subit la pression de la masse d'eau qui y est réunie et de l'air qui par force est mis en mouvement ; la trompette fait par suite entendre des mugissements prolongés.

Voyez aussi ce qui produit de la musique, lorsque l'eau s'écoule dans les orgues des grands théâtres : l'artiste fait naître des sons bien cadencés, dans des tons différents, en imprimant à l'air léger une impulsion et en poussant l'eau, par en dessous, comme à l'aide d'une rame.

Il n'en est pas autrement dans l'Etna ; refoulés par des torrents d'eau, les vents entrent en fureur, luttant dans des espaces étroits, et la montagne fait entendre de puissants grondements.

Bien que le texte soit très incertain, on devine qu'il fait référence à une trompe placée dans la bouche d'un Triton agencé de manière à faire entendre sous l'influence d'une pression hydraulique des sons graves et prolongés. Ce serait peut-être quelque chose d'analogue à nos sirènes de navires, notent certains éditeurs. Héron d'Alexandrie décrit dans ses *Pneumatiques*¹² des *σάλπιγγες* de ce genre :

11. ELLIS, R. (Oxford, 1901).

12. II, 35.27--28

ζωδάριον ἐσχηματισμένον εἰς Τρίτωνα καὶ ἔχον ἐν τῷ στόματι σάλπιγγα.

HILDEBRANDT¹³ précise qu'il s'agirait du Triton d'argent employé dans une naumachie que donna Claude en 53 lors de l'achèvement du canal d'écoulement du lac Fucin. Cette indication est transmise par Suétone :

hoc spectaculo classis Sicula et hodia concurrerunt duodenarum triremium singulae, exciente bucina Tritone argenteo, qui e medio lacu per machinam emererat. (Claude, 51)

Le récit de cet épisode par Tacite ne donne en revanche lieu à aucune mention du fameux Triton (*Annales*, XII, 56). Si l'allusion est bien celle-là, nous trouverions dans ce passage une indication précieuse pour affiner la datation du poème mais cela reste hypothétique. On sait également que César avait déjà fait creuser aux bords du Tibre un premier bassin destiné à des naumachies et que l'usage des *hydraulici* était alors déjà connu à Rome¹⁴. On peut également penser à une horloge hydraulique où l'heure serait annoncée par un Triton, machine inventée par Ctésibios d'Alexandrie et apportée à Rome en 159 av. J.-C. par Scipio Nasica Corculum¹⁵.

Mais on doit surtout penser ici à l'orgue hydraulique du même Ctésibios décrit par Héron d'Alexandrie¹⁶ comme par Vitruve¹⁷. Ce dernier présente l'alexandrin comme l'inventeur des machines hydrauliques et des automates¹⁸. L'empereur Néron avait, on le sait, une passion affirmée pour les orgues hydrauliques¹⁹. Faut-il chercher dans ce passage une allusion à ce fait ? Les contemporains, si tant est que le poème ait pu être composé sous le règne de cet empereur – la chronologie que nous suggérons va dans ce sens, auraient pu alors goûter la saveur toute particulière de cette comparaison renvoyant à un trait de caractère du prince qui se voulait aussi artiste.

L'identification de la machinerie ou de l'automate ici désigné reste ouverte mais l'on peut considérer que l'auteur ou bien pense à des machines qu'il connaît pour les avoir déjà vues – et dans ce cas l'enquête sur les sujets de curiosité

13. *Beiträge zur Erklärung des Gedichtes Aetna*, Leipzig, 1900 (reprenant l'explication de l'éd. WERNSDORF, *Poetae Latini Minores*, Altenburg, 1785).

14. Cic., *Tusc.*, III, 18 : *hydraulici hortabere ut audiat uoces potius quam Platonis*.

15. Cette machinerie est mentionnée et décrite par Censorinus, 23, 7 ; Pline, VII, 215 ; Vitruve, IX, 9, 4-5.

16. *Pneumatiques*, 227.

17. X, 13.

18. IX, 9.

19. Suétone, *Néron*, 41 & 54, Sénèque, *Ad Luc.*, 84.

des contemporains n'est pas sans intérêt – ou bien puise ses analogies dans une littérature technique, chez des auteurs décrivant ces machines. Les deux hypothèses ne sont d'ailleurs pas exclusives l'une de l'autre. Un autre passage de *l'Aetna* peut renforcer l'idée d'une référence empruntée à un ouvrage technique : plus loin ²⁰, l'auteur cite une autre invention de Ctésibios, la pompe à incendie, *sipo* ou *sipho*, dont nous trouvons la mention ailleurs ²¹.

L'analogie : un enjeu épistémologique.

Le recours à l'analogie heuristique est un aspect bien établi de la pensée scientifique de l'Antiquité ²². Or c'est bien ce dont il s'agit à travers ce passage : afin de rendre compte d'un phénomène difficile à saisir dans sa complexité, et encore plus difficile à observer dans son déroulement, l'auteur renvoie aux machines hydrauliques que les ingénieurs savaient construire et que le public pouvait connaître. Ce qui importe en revanche pour saisir la démarche épistémologique suivie par les théoriciens, et pour comprendre les relations que les différents domaines du savoir entretiennent en eux, est l'identification du référent analogique, qui est censé constituer le domaine connu ou familier permettant de trouver une explication à ce qui relève de l'inconnu.

De manière générale, c'est l'analogie à caractère biologique ou physiologique – qui rejoint la figure traditionnelle du microcosme/macrocosome – que les traités de météorologie antiques privilégient ²³. Elle est très présente chez Aristote ; elle domine chez Sénèque. Chez Lucrèce, elle intervient aussi dans la description du phénomène volcanique puisque les vers 655-664 du chant VI établissent l'analogie avec une crise d'*ignis sacer* ou érisypèle. Ce recours au biologique comme modèle explicatif et heuristique n'est pas absent du poème sur *l'Aetna* mais il est beaucoup moins marqué qu'ailleurs. Le volcan est très clairement envisagé ici plutôt sous l'angle de la machine et non sous celui du vivant, ce qui est assez inhabituel chez les météorologues anciens. Or dans la pensée scientifique comme dans l'usage de l'analogie, la pensée vitaliste et la pensée mécaniste ou technologique s'opposent souvent ; à la première est sou-

20. v. 395.

21. Pline le Jeune (X, 35) et Isidore (*Orig.*, XX, 6, 9).

22. Au sein d'une abondante bibliographie sur l'analogie et afin de limiter les références aux textes ou enjeux les plus proches de cette analyse, citons : ARMISEN-MARCHETTI, M. (2002) ; SCHRIJVERS, P. H. (1978).

23. Voir LE BLAY, F. (2005).

vent associée une vision finaliste du monde et de la nature. C'est sur ce mode et selon cette distinction que l'on a parfois opposé physique épicurienne et physique stoïcienne²⁴.

G. CANGUILHEM a cependant bien montré que, si ces deux perspectives se concurrencent dans l'histoire des sciences, elles correspondent en réalité à une seule et même approche : même les mécanistes seraient anthropomorphiques puisque leurs représentations s'appuient sur le paradigme de la machine, qui n'est rien d'autre qu'une construction humaine construite en vue de finalités humaines²⁵. Dès lors que l'on se retourne vers les traités de mécanique antique, l'anatomie humaine ou animale apparaît souvent comme un référent tant dans la dénomination que dans la compréhension du fonctionnement des mécanismes. Le cas des machines de siège est de ce point de vue intéressant. On a ainsi pu noter la parenté des problèmes traités par Aristote dans le *De motu animalium* et les *Quaestiones mechanicae*. Aristote assimile par exemple les organes du mouvement animal à des *organa*, c'est-à-dire des parties de machines de guerre, le bras d'une catapulte par exemple. Il compare également le mouvement des membres à des mécanismes, fidèle sur ce point au *Timée* où le mouvement des vertèbres était défini comme celui de charnières ou de gonds²⁶. Il y d'ailleurs, aujourd'hui encore, de nombreux points de confluence entre les traités d'anatomie et les traités de mécanique. Pour mémoire, Empédocle avait expliqué la respiration en recourant au modèle de la clepsydre, modèle qui sera critiqué par Aristote dans ses *Parua naturalia*²⁷.

Remarques conclusives : le volcan est-il un instrument de musique ?

Il faut ici se demander ce qui, dans un tels cas de figure, a pu conduire l'auteur de l'*Aetna* et probablement d'autres avant ou après lui, à envisager l'orgue hydraulique comme modèle pour comprendre le déroulement d'une éruption volcanique. L'existence d'autres sources serait bienvenue pour répondre mais, faute de pouvoir les prendre en considération, nous devons accepter soit de laisser la question ouverte soit de proposer des hypothèses contextuelles. Or c'est

24. Voir ainsi P. H. SCHRIJVERS, 1978.

25. CANGUILHEM, G. (1965).

26. Ces rencontres avaient été notées dans une étude assez ancienne de ESPINAS, A. (1903).

27. Cf. BOOTH, N. D. (1960); FURLEY, P. J. (1957).

peut-être une simple analogie visuelle qui sous-tend cette explication. Les habitants des régions volcaniques, les amateurs de volcans ou les simples promeneurs savent qu'il existe certaines formations appelées couramment orgues volcaniques ou colonnes basaltiques par les spécialistes. Ces formations, souvent impressionnantes, résultant de l'érosion d'anciennes cheminées volcaniques, peuvent rappeler les tuyaux d'un orgue même si leur forme n'est pas celle d'un cylindre mais celle d'un prisme hexagonal²⁸. De là à imaginer que l'observation attentive ait pu conduire à l'analogie mécaniste, le pas nous paraît facile à franchir.

L'un des dangers de l'histoire des sciences est celui de se donner pour finalité l'évaluation des systèmes et les théories du passé à l'aune des « vérités » et des connaissances contemporaines. Il y a toujours une erreur historique et épistémologique à procéder de la sorte. Les systèmes étiologiques du passé doivent en effet être évalués à l'aune de leur contexte intellectuel, social et matériel. Vouloir relier une analogie comme celle que nous venons d'étudier aux théories de la vulcanologie actuelle et chercher dans l'auteur du poème un précurseur de la science d'aujourd'hui serait donc vain. Mais il convient à l'inverse de se garder de tout excès de fétichisme historique et considérer qu'il n'est jamais intéressant d'interroger la pertinence des modèles du passé par rapport à ce que nous savons ou pensons aujourd'hui être la réalité des phénomènes. Il a fallu du temps à la science moderne pour parvenir à constituer un champ théorique comme la vulcanologie. Les conditions présidant à la formation des colonnes basaltiques étaient incontestablement bien éloignées des représentations d'un poète savant du I^{er} siècle. À défaut de disposer de tous les outils intellectuels et techniques nécessaires à une appréhension expérimentale du monde, les Anciens savaient être des observateurs attentifs et perspicaces de leur environnement.

Bibliographie

ARMISEN-MARCHETTI, M. (2002), « L'imaginaire analogique et la construction du savoir dans les *Naturales Quaestiones* de Sénèque », in M. COURRÉNT &

28. Cindy Ebinger, Professeur de Tectonique, au Dpt de Géologie, du Royal Holloway College, University of London, est l'une des spécialistes reconnues de ce type de formations; nous renvoyons à ces travaux, où la comparaison avec l'orgue est plusieurs fois avancée et analysée.

J. THOMAS, *Imaginaire et modes de construction du savoir antique dans les textes scientifiques et techniques*, Coll. Études, Perpignan : Presses universitaires de Perpignan, p. 155-172.

BOOTH, N. D. (1960), « Empedocles account of breathing », *Journal of Hellenic Studies*, 80, p. 10-15.

CANGUILHEM, G. (1965), « Machine et organisme », *La connaissance de la vie*, Paris : J. Vrin, p. 101-127 (1992²).

DE LACY, PH. (1943), « The philosophy of the » *Aetna*, *Transactions of the American Philological Association*, 74, p. 168-178.

ESPINAS, A. (1903), « L'organisme ou la machine vivante en Grèce, au IV^{ème} siècle avant J.-C. », *Revue de métaphysique et de morale*, p. 703-715.

FOULON, A. (2004), « Pour mieux comprendre la notion d'*imitatio/aemulatio* à partir d'exemples significatifs : sur quelques évocations de l'Etna dans la poésie latine, de Lucrèce à Claudien », *Revue des Études Latines*, 82, p. 110-126.

FOULON, É. (éd.) (2004), *Connaissance et représentations des volcans dans l'Antiquité*, Collection ERGA, Recherches sur l'Antiquité, 5, Clermont-Ferrand : Presses Universitaires Blaise Pascal.

FURLEY, P. J. (1957), « Empedocles and the clepsydra », *Journal of Hellenic Studies*, 77, p. 31-34.

HERRMANN, L. (1958), *Le second Lucilius (C. Lucilius Iunior), poems (Épigrammes, Ciris, Etna, Octavie, Cléopâtre)* édités et traduits, Coll. Latomus, 34, Bruxelles.

HILDEBRANDT, R. (1900), *Beiträge zur Erklärung des Gedichtes Aetna*, Leipzig : Kommissions-Verlag der Dürr'schen Buchhandlung.

LE BLAY, F. (2005), « Microcosm and Macrocosm : the dual direction of analogy in Hippocratic thought and the meteorological tradition », in PH. J. VAN DER EIJK (ed.), *Hippocrates in Context, Papers read at the XIth International Hippocrates Colloquium, University of Newcastle-upon-Tyne, 27-31 august 2002*, Studies in Ancient Medicine, 31, Leiden-Boston : Brill, p. 251-269.

LE BLAY, F. (2006), « Le poème latin sur l'Etna : témoin d'un savoir oublié », in C. CUSSET (éd.), *Musa docta. Recherches sur la poésie scientifique dans l'Antiquité*, Mémoire du Centre Jean Palerne, 30, Saint Étienne : Publications de l'Université de Saint-Étienne, p. 335-361.

SCHRIJVERS, P. H. (1978), « Le regard sur l'invisible. Étude sur l'emploi de l'analogie dans l'œuvre de Lucrèce », in O. GIGON, *Lucrèce, Entretiens de la*

Fondation Hardt sur l'Antiquité classique, 24, Vandoeuvres-Genève : Fondation Hardt, p. 77-121.

Table des figures

L'invention du moulin à eau	29
1 Le mécanisme du moulin à eau décrit par Vitruve (UCBN – Plan de Rome)	44
2 Le moulin à eau décrit par Vitruve, vue extérieure (UCBN – Plan de Rome)	45
3 Le moulin à eau décrit par Vitruve, vue éclatée (UCBN – Plan de Rome)	45
4 Le moulin à roue horizontale	46
5 La meunerie de Barbegal	47
6 Le « détour de la muraille » d'Aurélien sur le Janicule	47

Table des matières

Introduction	i
Jean-Yves GUILLAUMIN	
Les automates dans l'Antiquité, de la légende mythologique aux traités techniques	1
Micheline DECORPS	
Quelques problèmes d'histoire du texte autour d'un traité technique de l'Antiquité : la <i>Dioptre</i> d'Héron d'Alexandrie	17
Philippe FLEURY	
L'invention du moulin à eau	29
Frédéric LE BLAY	
L'orgue et le volcan : quand la machine explique la nature	49
Table des figures	59

Le sujet des machines et des inventions, qui pourrait paraître en première lecture relégué aux marges les moins fréquentées de la littérature et des études antiques, s'avère, si l'on y regarde de plus près, d'une exceptionnelle richesse. Tout d'abord, les termes mêmes désignant cette notion (le grec *mêchanê* et son calque latin *machina*) ainsi que leurs dérivés occupent dans la littérature une place bien attestée et loin d'être négligeable. Les usages métaphoriques et les sens figurés ne manquent pas. Ils renvoient, la plupart du temps, à la ruse ou à la tromperie, avec une connotation négative qui fait souvent de la machine une sorte de produit douteux du *logos* ou de la *ratio*.

Le thème fait également appel à une littérature technique longtemps délaissée que les études classiques ont redécouverte depuis quelques années. Machines et inventions relèvent en effet de l'histoire des sciences et des techniques. Les contributions présentées ici nous apprennent ou nous rappellent que l'ingénierie des Anciens avait atteint un degré de technicité et de précision que notre méconnaissance de la littérature traitant de tels sujets, associée à la disparition des productions elles-mêmes, nous empêche d'apprécier à leur juste valeur. La lecture des descriptions d'automates par Héron d'Alexandrie peut laisser rêveur et dubitatif le lecteur contemporain, qui se demandera si les merveilles de l'industrie humaine qui lui sont présentées ont pu exister en dehors de l'imagination de leur auteur.



UNIVERSITÉ DE NANTES



<http://revues.aplaes.org> ISSN 2271-4693

