

In Sciences Exactes et
Ménages appliqués à
Alexandrie

Gilbert ARGOUD

Héron d'Alexandrie et les *Pneumatiques*

4339
ARGOUD, G.
1998
p. 128-145

Héron d'Alexandrie

Dans le domaine des sciences et des techniques, on connaît le nom de plusieurs théoriciens et inventeurs d'époque hellénistique ou romaine, mais 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 nous¹. La période durant laquelle a vécu Héron a été longtemps flottante, puisqu'on le situait ici ou là dans une vaste durée, allant du III^e siècle avant J.-C. au III^e siècle après J.-C. Mais il est maintenant établi qu'il a vécu au milieu du I^e siècle après J.-C.² En effet Héron dans ses *Mécaniques* décrit une vis de pressoir à pression directe³, mécanisme que Pline l'Ancien présente comme une invention récente à son époque⁴. Par ailleurs Héron explique dans la *Dioptra*, chapitre 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., comme l'a montré O. Neugebauer⁵. On peut donc situer avec assez de précision l'époque durant laquelle a vécu Héron, sans avoir pour autant des détails sur sa vie ou sa personnalité. La tradition lui attribue seulement une

1 - *Heronis Alexandrini opera quae supersunt omnia*, édition Teubner, au total 5 vol, Leipzig, 1899-1914 : vol I, *Pneumatica, Automata*, éd. Schmidt ; vol. 2, *Mecanica, Catoptrica*, éd. Schmidt ; vol. 3, *Metrica, Dioptra*, éd. Schöne ; vol. 4, *Définitiones, Geometrica*, éd. Heiberg ; vol. 5, *Stereometrica, De mensuris*, éd. Heiberg.

2 - A. G. Drachmann, *Ktesibios, Philon and Heron, a Study in Ancient Pneumatics*, Copenhagen, 1948, 74-77.

3 - Héron, *Mécaniques* 3,20.

4 - Pline l'Ancien, *Hist. Nat.* 18,317.

5 - O. Neugebauer, « Über eine Methode zur Distanzbestimmung Alexandria-Rom bei Heron », *Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab. Historisk-filologiske Meddelelser*, 1938, 26, 2.

origine modeste à Alexandrie, où il aurait d'abord travaillé comme cordonnier avant de s'intéresser aux mathématiques et à leurs applications techniques. Heureusement, on a conservé une partie importante de son œuvre, ce qui permet de mieux cerner ses centres d'intérêt et le champ de son savoir, car il s'inscrit dans une lignée d'inventeurs, ou « mécaniciens », selon l'expression de Bertrand Gille⁶.

Les prédécesseurs d'Héron à Alexandrie

Ctésibios est le plus ancien de ces mécaniciens d'Alexandrie, et nous avons très peu d'informations sur lui. Il est mentionné par Athénée dans les *Deipnosophistes*⁷, par Diodore de Sicile⁸, par Vitruve⁹ et par Plinius l'Ancien¹⁰; leurs différents témoignages permettent de situer la vie de Ctésibios au III^e siècle avant J.-C., durant le règne de Ptolémée II Philadelphe (283-247). Ctésibios a donc été contemporain d'Archimède. Il était d'origine modeste, et la légende le présente comme le fils d'un barbier des faubourgs d'Alexandrie, avec un esprit concret et inventif, dont il fit preuve très jeune. Aucun de ses écrits n'a été conservé, mais ses inventions sont souvent mentionnées par les auteurs postérieurs. On sait ainsi qu'il avait fait des inventions dans le domaine des Pneumatiques, c'est-à-dire la compression de l'air et du souffle, *pneuma*, et son action sur l'eau, dans quatre directions : instruments de musique¹¹, horloges hydrauliques¹², machines pour élever l'eau, et notamment une pompe à incendie dite « pompe de Ctésibios »¹³, et machines de guerre¹⁴; le fonctionnement de la « pompe de Ctésibios » a été décrit par Philon de Byzance, Vitruve et Héron d'Alexandrie.

La vie de Philon de Byzance¹⁵ est presque aussi mal connue que celle de Ctésibios, mais une partie de son œuvre est parvenue jusqu'à nous. Il avait écrit un vaste ouvrage sur les techniques en neuf livres, *Méchanikè Suintaxis*, dont le quatrième livre, *Belopoïica*, ainsi que des fragments du septième, *Paraskeuastica*, et du huitième, *Poliorkética*, sont conservés en grec, tandis

6 - B. Gille, *Les Mécaniciens grecs : la naissance de la technologie*, Paris, 1980.

7 - Athénée, *Deipnosophistes* IV, 174 b-c.

8 - Diodore de Sicile III, 42.

9 - Vitruve 9, 8 et 10, 7.

10 - Plinius l'Ancien, *Hist. Nat.* 7, 125.

11 - A. G. Drachmann, *o.l.*, 7-16; M. Nordon, *L'eau conquise, les origines et le monde antique*, Paris, 1991, 92-94.

12 - A. G. Drachmann, *o.l.*, 16-21; B. Gille, *o.l.*, 97-101; M. Nordon, *o.l.*, 83-91.

13 - A. G. Drachmann, *o.l.*, 4-7; B. Gille, *o.l.*, 86-90.

14 - B. Gille, *o.l.*, 93-97.

15 - A. G. Drachmann, *o.l.*, 41-74; B. Gille, *o.l.*, 103-121.

que le cinquième livre, *Pneumatica*, est conservé dans une version arabe¹⁶. Philon de Byzance cite Ctésibios, qu'il semble n'avoir pas rencontré, mais dont il a vu certaines machines. Il est probable qu'ils ont vécu tous deux dans ce même III^e siècle avant J.-C., avec une sensible différence d'âge entre les deux hommes, Philon étant plus jeune d'une génération au moins. Vitruve et Héron, qui citent Philon, disent qu'il était originaire de Byzance, certainement pour le distinguer d'un autre Philon, architecte originaire d'Athènes. De Philon de Byzance, on sait seulement qu'il vécut un certain temps à Alexandrie, et qu'il séjourna à Rhodes. La partie conservée de son œuvre forme un ensemble réunissant les textes les plus anciens d'origine alexandrine que nous ayons sur les machines et appareils divers construits en application d'un principe mathématique ou physique. Philon reprend certainement une partie du programme qu'avait réalisé avant lui Ctésibios, sans qu'on puisse préciser la part de chacun. Il annonce également d'une façon assez précise ce que sera l'œuvre d'Héron d'Alexandrie, qui a été conservée dans sa plus grande partie.

L'œuvre d'Héron d'Alexandrie

L'ensemble de l'œuvre d'Héron s'articule autour de trois grands axes. Le premier axe concerne les mathématiques. Son ouvrage théorique le plus important est incontestablement ses *Métriques* (*Metrica*), en trois parties. Dans le livre I, il présente des figures planes, comme les triangles, les quadrilatères et autres polygones réguliers ayant jusqu'à douze côtés, les cercles, les ellipses, les paraboles, et des volumes, comme les cylindres, les cônes et les sphères, en indiquant le moyen de calculer la surface de ces figures. Dans ce même livre I, il expose une méthode pour extraire la racine carrée d'un nombre. Le livre II aborde le calcul du volume des cylindres, cônes, pyramides, sphères et autres figures de ce genre, tandis que le livre III concerne la division des surfaces et des volumes en parts correspondant à un rapport donné. Les questions qu'Héron aborde dans les *Métrica* se retrouvent dans d'autres œuvres, comme les *Définitions* (*Definitiones*), la *Géométrie* (*Geometrica*), la *Stéréométrie* (*Stereometrica*), les *Mesures* (*De mensuris*). Héron avait également rédigé un *Commentaire sur Euclide*, commentaire qui est perdu, mais dont le contenu devait être théorique et se rattacher à ce premier axe de l'œuvre d'Héron que sont les mathématiques.

Le second axe de l'œuvre d'Héron concerne les applications scientifiques des connaissances théoriques. Ainsi dans sa *Dioptra* (*Dioptra*), œuvre qui

16 - C'est cette version arabe qu'a traduite B. Carra de Vaux, « Le livre des appareils pneumatiques et des machines hydrauliques de Philon de Byzance d'après les versions arabes d'Oxford et de Constantinople », *Académie des Inscriptions et Belles Lettres : Notice et extraits des mss. de la Bibliothèque Nationale*, Paris, 38, 1903, 27-235.

relève aussi de la géométrie, il expose le fonctionnement de l'instrument destiné à mesurer les distances, et son appareil n'est autre qu'un ancêtre de notre théodolite. Ce traité contient également une partie consacrée à l'astronomie, et c'est là qu'Héron explique le moyen de calculer la distance entre Rome et Alexandrie par l'observation d'une éclipse de lune. Dans sa *Catoptrique*, ou *Réflexions* (*Catoptrica*), il présente la propagation de la lumière et les lois de la réflexion.

Le troisième grand axe de l'œuvre d'Héron a rapport aux machines ou appareils divers, qui sont des applications techniques de principes scientifiques. Le traité des *Machines de jet* (*Belopoiica*) traite, comme son nom l'indique, des machines de jet utilisées à la guerre pour atteindre un ennemi. Héron expose les procédés de fabrication de ces machines et leur fonctionnement, notamment le calcul des proportions de certains projectiles et de leur vitesse. C'est un sujet qui avait déjà été abordé par Ctésibios, et on peut supposer qu'Héron doit beaucoup à son prédécesseur, même s'il a pu apporter certains perfectionnements. Le petit traité intitulé *Chirobaliste* n'est que la description d'une espèce particulière de machine de jet, machine individuelle et portable, que l'auteur avait certainement sous les yeux quand il en décrivait le mode de construction. C'est tout simplement l'ancêtre de l'arbalète qu'utilisaient les archers au Moyen Âge. Les *Mécaniques*, en trois livres, sont conservés uniquement dans une traduction arabe. Héron y aborde différentes questions, notamment le centre de gravité et l'équilibre des machines simples que sont le levier, la vis, la moufle et le treuil. Il traite ensuite de la roue dentée et des diverses applications que l'on peut en faire ; en complétant son ouvrage par la construction d'appareils de toutes sortes qui relèvent de la vie quotidienne, notamment différentes formes de presseoir à vis. Le *Treuil* (*Barulcos*), ou *Méthode pour tirer des poids lourds*, est une application de l'ouvrage précédent, dans lequel Héron traite de la combinaison de machines simples employées pour lever et tirer des fardeaux. Il étudie particulièrement le moyen d'élever un poids déterminé avec une force déterminée. Les *Automates* (*Automata*) présentent le mécanisme utilisé dans les machines de théâtre, et l'ouvrage constitue un document important pour la scénographie grecque et romaine. Outre ces ouvrages, on connaît également l'existence de deux traités perdus d'Héron. L'un traitait des balances (*Zeugia*), c'est-à-dire de l'équilibre des corps ; l'autre, en quatre livres, concernait les horloges hydrauliques (*peri hudrion horoscepeion*). C'est à ce dernier axe de l'œuvre d'Héron, machines et appareils divers, qu'appartiennent les *Pneumatiques*.

Les *Pneumatiques*

Le mot « pneumatiques » désigne un ensemble d'appareils qui utilisent le « souffle », *pneuma* en grec, c'est-à-dire la pression de l'air, de la vapeur et

également de l'eau, avec usage de siphons, pour obtenir une réaction ou un mouvement. Certains appareils peuvent être utiles, comme la pompe à incendie, ou des dispositifs permettant d'alimenter automatiquement une lampe en huile ; mais d'autres ont un caractère ludique nettement affirmé, par exemple ceux qui permettent d'obtenir des chants d'oiseaux ou de la musique. D'autres enfin ont un caractère merveilleux, propre à étonner le spectateur ; c'est le cas de réceptacles où l'on verse de l'eau, et d'où il sort du vin, ou de lampes à huile qu'on alimente en y versant de l'eau.

Les *Pneumatiques* d'Héron se répartissent en deux livres, le premier comprenant une préface et quarante trois chapitres, et le second trente sept chapitres. Les huit premiers chapitres du livre I sont homogènes, avec la description des différents types de siphons, et ils forment une suite naturelle à l'introduction. Mais il n'y a pas de plan cohérent dans le reste de l'ouvrage. On a parfois une suite de deux, trois ou quatre chapitres montrant le même appareil avec différents traitements. Mais en comparaison avec la *Dioptrique*, les *Mécaniques* ou la *Catoptrique*, où la disposition des chapitres est claire et cohérente, les *Pneumatiques* présentent une progression confuse.

L'objet des *Pneumatiques* est bien précisé par Héron dès le début de la préface de l'ouvrage : « c'est grâce à la combinaison de l'air, du feu, de l'eau et de la terre, et par l'union de trois de ces éléments ou même des quatre, que sont mises en action des compositions variées, dont les uns subviennent aux nécessités les plus pressantes de la vie humaine, et les autres suscitent l'admiration et l'étonnement ». Peu auparavant, dès la première phrase, il a indiqué qu'il voulait reprendre les travaux de ses prédécesseurs, en ajoutant sa part personnelle, « ... nous pensons nécessaire de mettre en ordre nous aussi ce qui a été transmis par les anciens, tout en y ajoutant nos propres découvertes ». Il propose donc de mettre « en action des compositions variées, qui les uns offrent ce qui est utile et indispensable à la vie humaine, les autres montrent quelque chose de surprenant et d'étonnant ».

L'auteur reconnaît donc une dette envers ses prédécesseurs, ainsi qu'un aspect tantôt utile et tantôt amusant ou merveilleux aux appareils qu'il propose. La source principale pour les *Pneumatiques* d'Héron est, selon toute vraisemblance, l'ouvrage de Philon de Byzance qui porte le même nom de *Pneumatiques*, ou un ouvrage perdu dérivé de celui de Philon, mais il y a une source particulière pour II, 17 (la ventouse) et II, 18 (la seringue), qui, avec leur utilisation médicale, se distinguent des autres appareils. Héron a trouvé ces deux appareils dans un ouvrage de médecine ou d'appareils médicaux, et non dans un ouvrage de pneumatiques. Mais s'il admet une dette envers des prédécesseurs, Héron affirme l'originalité de son écriture, comme il le dit dans les *Automates* II, 12 : « il faut éviter la présentation des anciens, pour que l'ap-

pareil apparaisse plus neuf », δεῖ δὲ καὶ τὰς τῶν ἀρχαίων ἐκφυγεῖν διαθέσεις, ὅπως καινότερον τὸ κατασκευάσμα φαίνεται. Héron était un mécanicien habile, avec un style en général clair, et un vocabulaire technique précis. Mais ce qui est décrit présente un intérêt très variable et beaucoup de désordre, ce qui nous amène à proposer divers appareils dans un ordre différent de celui d'Héron.

Quelques appareils des *Pneumatiques*

Dès le début du premier livre, Héron présente, en I,7, une clepsydre (fig. 1) qui n'est pas un appareil nouveau puisqu'il correspond très précisément à la clepsydre que décrit déjà Empédocle :

[...] Ainsi une enfant
Joue à la clepsydre dans une bassine légère.
Tant qu'elle presse l'anse creuse de sa belle main,
Et qu'elle la plonge dans le corps délicat de l'eau d'argent,
Nulle onde ne pénètre dans le vase, écartée
Par l'air qui s'abat et qui pèse à l'intérieur contre les trous serrés,
Jusqu'à ce qu'elle laisse échapper de l'anse le flot qui s'y presse ; alors
Quand le souffle s'en est allé, y pénètre l'eau dans une égale mesure.
De même lorsque la fillette tient l'eau dans les profondeurs de la bassine,
Comme le détroit de l'anse est fermé par la chair de sa paume,
L'éther au dehors, dans un brûlant désir d'entrer, repousse l'onde,
Et autour des portes de l'isthme qui gronde sourdement, il règne aux frontières,
Jusqu'à ce que l'enfant laisse aller la main ; alors à l'inverse, au rebours d'au-
paravant,
Comme le souffle fond des hauteurs, l'eau s'écoule en bas dans une mesure égale¹⁷.

Le fonctionnement est simple : pour transférer un liquide, du vin par exemple, on plonge la sphère creuse dans le vin, qui entre par la passoire, tandis que l'air intérieur s'échappe par le tube. Puis on presse l'orifice du tube avec le pouce et on retire la sphère du vin ; aussi longtemps qu'on ferme l'orifice du tube avec le pouce, l'air n'entre pas dans la sphère, et le vin ne s'écoule pas. Pour laisser le vin, ou tout autre liquide, s'écouler, il suffit de relâcher le pouce et de laisser entrer l'air.

Ce type de vase était connu depuis longtemps. Parmi les exemplaires les plus anciens, on peut citer un vase du Mycénien Récent, d'origine inconnu, de la collection privée du Professeur A. B. Cook¹⁸. Grossièrement sphérique, ce vase a un col long et étroit, avec une petite anse verticale au sommet ; l'ouverture supérieure peut être aisément obstruée avec le pouce, et le fond du vase est percé de six petits trous. Un vase complet du même genre, d'une vingtaine de centimètres de hauteur, a été retrouvé en 1981 à Ras Shamra/Ugarit,

17 - Empédocle, fr. 551 de l'édition de J. Bollack 1969, *Empédocle*, Paris. Traduction de J. Bollack 1969, tome II, p. 206.

18 - E. J. A. Kenny, 1944, *Quaestiones Hydraulicae*, Cambridge, monographie dactylographiée, en dépôt à la bibliothèque de Cambridge, p. 248-249.

en Syrie, par Pierre Lombard, qui le date du dernier été d'occupation de la ville, à la fin du XIII^e siècle avant J.-C.¹⁹. Il s'agit d'une petite cruche en céramique commune, sans décor, à panse sphérique, dont le col présente un orifice circulaire d'un centimètre de diamètre, orifice que l'on peut facilement obturer avec le pouce. Le fond du vase est percé en son centre de 22 trous, de trois millimètres de diamètre, disposés en cercles concentriques. Un vase du même genre, mais incomplet, avait déjà été retrouvé sur le même site de Ras Shamra et publié par Jean-Claude Courtois²⁰. Ce vase présente les mêmes caractéristiques que les précédents, avec un goulot resserré et un fond percé de petits trous, mais il paraît sensiblement plus ancien, puisqu'il est daté de la transition Bronze moyen / Bronze récent.

Appartiennent également à ce type de clepsydre un certain nombre de vases du VI^e siècle avant J.C. Ils présentent tous une taille et une forme identiques, avec une panse sphérique, et une anse creuse qui forme un arc de cercle au-dessus. Cette anse est pourvue au sommet d'un trou unique, facile à boucher, et le fond est percé de multiples petits trous par lesquels le liquide entre ou sort, au gré de l'utilisateur qui commande l'ouverture supérieure. Tous ces vases ont une hauteur totale d'une vingtaine de centimètres, et une quinzaine de centimètres pour la panse, et ces dimensions modestes leur donnent l'aspect de jouets, en accord avec l'image de « l'enfant qui joue » d'Empédocle. Le premier vase de ce genre a été trouvé en Béotie, et il est maintenant au musée du Louvre²¹, mais l'on en connaît d'autres, à Athènes²², à Éleusis, où la partie supérieure du vase manque²³, à Baltimore²⁴, à Leningrad²⁵, à Wurzburg²⁶, à Copenhague²⁷, à Orvietto²⁸, à Yale²⁹ et au Metropolitan Museum de New-York³⁰. Héron nous présente donc une clepsydre qui a une origine très

19 - P. Lombard, *Pneumatique d'Ougarit : note sur une « clepsydre » du Bronze récent*, RSO III : Le centre de la ville, 38e - 44e campagnes (1978-1984), ADPF, Paris, 1987, p. 351-356. Le vase porte le numéro d'inventaire 81/509.

20 - J.-C. Courtois, *Corpus céramique de Ras Shamra / Ugarit II*, Ugaritica, VII, 1979, p. 214 et fig. 6 : 22. Signalé par P. Lombard, *o.l.* p. 352.

21 - Paris, Louvre CA 822 ; E. Pottier, 1899, *Nouvelles acquisitions du Louvre*, Rev. Arch. 1, p. 7-8 et fig. 6 ; M. Clermont-Ganneau, 1899, *Une « éponge américaine » du VI^e siècle avant notre ère*, Rev. Arch. 1, p. 323.

22 - Athènes 884 ; R. Zahn, 1899, *Zur Mitasvase aus Eleusis*, Ath. Mitt. 24, p. 339.

23 - H. Bulle, 1897, *Midas und Silen*, Ath. Mitt. 22, p. 387.

24 - D. M. Robinson, 1938, *CVA USA 7*, p. 12-14 et pl. 3.

25 - S. Reinach, 1899, *L'éponge américaine*, Rev. Arch. 2, p. 341.

26 - E. Langlotz, 1932, *Griechischen Vasen in Wurzburg*, Munich, n° 459.

27 - Clepsydre ABc 1 020 ; Ch. Blinkenberg et K. F. Johansen, sans date, *CVA Danemark 3*, pl. 120, 2.

28 - Musée Faina ; H. Philippart, 1932, *Collections de céramique grecque en Italie II*, Bruxelles, p. 103.

29 - P. V. C. Baur, 1922, *Catalogue of the Rebecca Darlington Stoddard Collection of Greek and Italian Vases in Yale University*, New Haven, Connecticut, n° 499.

30 - H. C. Butler, 1969, *Sardis I. The excavations*, Amsterdam, p. 119-120 et fig. 126.

ancienne, mais il fait preuve d'originalité en proposant immédiatement après, en I,8, une clepsydre double, avec la possibilité de faire couler de l'eau d'un côté, et du vin de l'autre, ou un mélange des deux dans les proportions que l'on veut (fig. 2).

L'appareil I,25 offre un dispositif merveilleux, qui permet de verser de l'eau dans un vase, et de tirer en même quantité du vin d'un autre vase (fig. 3). Sur un socle se trouvent deux vases : celui de droite contient de l'eau, tandis que l'autre, à gauche a du vin. Entre les deux vases, il y a un tube, muni d'un robinet, suspendu et rattaché par un système de poulies à un flotteur qui se trouve dans le vase à eau, avec équilibre entre le tube et le flotteur. De plus, le vase à vin, à gauche, est relié par un siphon recourbé au tube muni de son robinet. Le siphon est amorcé, et par suite du vin s'écoulera par le robinet du tube, jusqu'à ce que l'équilibre soit trouvé pour le niveau du vin dans le vase et dans le tube. Versons alors une certaine quantité d'eau dans le vase à eau, le flotteur remonte, ce qui fait baisser le tube : le siphon, qui est amorcé, joue son rôle, le vin vient dans le tube et sort par le robinet. Lorsque le niveau entre le vase à vin et le tube est établi à nouveau, le vin ne s'écoule plus. On peut recommencer l'opération en versant à nouveau de l'eau. Pour l'effet de surprise, il faut évidemment que le mécanisme soit dissimulé. Il y a ainsi plusieurs appareils à surprise dans les *Pneumatiques*.

L'appareil I,21 est un distributeur de liquide lorsqu'on met une pièce de monnaie dans un vase, pour obtenir de l'eau pour des ablutions, par exemple (fig. 4). On a un vase avec un col ouvert, avec à l'intérieur un autre vase ayant au fond un petit compartiment relié à l'extérieur par un robinet. Ce petit compartiment est surmonté d'un couvercle amovible, suspendu à une tringle, le tout en équilibre avec un petit plateau, à l'aplomb de l'ouverture du premier vase. Jetons une pièce dans le vase : elle tombe sur le petit plateau qui, alourdi, s'abaisse, ce qui a pour effet de soulever le couvercle de l'autre côté. Le liquide s'échappe par le robinet, mais pas pour longtemps, car la pièce glisse du petit plateau qui s'est incliné : le couvercle se plaque alors sur le petit compartiment, et l'écoulement cesse. Il reprendra si l'on met une nouvelle pièce dans le vase.

Héron propose également, en II,30 un autre distributeur de boisson plus perfectionné, avec des quantités de liquide que l'on peut choisir (fig. 5). Il s'agit d'un vase, avec un canal d'écoulement vers l'extérieur, et toujours un couvercle qui peut venir se plaquer sur ce canal. Sur l'anse, un support sert de pivot à un ensemble qui tient suspendu le couvercle, relié par ailleurs à une réglette horizontale, elle-même mobile sur un axe à la base du vase : d'un côté de cette réglette, l'extrémité extérieure du canal d'écoulement présente une petite plate-forme avec une coupe, et l'autre extrémité a un curseur mobile sur la

réglette. On voit très bien le principe du fonctionnement. L'ensemble mobile reliant le couvercle, le curseur et la coupe, est solide et en équilibre au point 0 du curseur. Si l'on déplace le curseur vers la gauche, le poids du curseur va rompre l'équilibre, soulever le couvercle, le liquide s'écoulera et remplira la coupe. On pourra ainsi déterminer la quantité de liquide que l'on veut recueillir et faire des marques sur la réglette, pour 25 ou 50 cl (Héron parle de coyle, le coyle valant environ 25 cl). Une fois les marques faites sur la réglette pour des quantités précises, on pourra avoir ces quantités à volonté. En effet, lorsque la coupe s'est remplie, le système se remet en équilibre, ce qui a pour effet de plaquer le couvercle sur le canal d'écoulement ; le liquide alors ne coule plus, après livraison de la quantité prévue à l'avance.

Plusieurs lampes présentent aussi des dispositifs peu ordinaires. Tout d'abord, en I,34, une lampe est munie d'une mèche qui avance toute seule au fur et à mesure qu'elle se consume (fig. 6). A l'intérieur de la lampe, une tige métallique est enroulée autour de la mèche. De plus la lampe est munie d'un flotteur qui, en s'abaissant avec la consommation d'huile, entraîne les dents d'une roue, fixée contre la paroi de la lampe, dents qui elles-mêmes entraînent la tige métallique autour de la mèche. En théorie, le système doit fonctionner ; mais une lampe est un objet de petites dimensions, et le flotteur a-t-il suffisamment de poids et de force pour que le mouvement se produise ? Il est possible cependant que la lampe soit d'assez grandes dimensions, car on n'a aucune information sur sa taille. Dans ce cas, le mécanisme peut être efficace.

Une autre lampe est tout à fait étonnante, en II,24, puisqu'on l'alimente en huile en y versant de l'eau (fig. 7). La lampe est sur une base creuse et étanche, avec deux tubes. L'un sort au-dessus de la lampe avec un entonnoir et descend presque jusqu'au fond de la base. L'autre part du sommet de la base et débouche au fond de la lampe. Au départ, le tout est plein d'huile, base et lampe, et l'huile se trouve également dans les deux tubes. En brûlant, la lampe se vide de son huile. Pour rétablir le niveau dans la lampe, il suffit de verser de l'eau dans l'entonnoir. Cette eau descend au fond de la base, ce qui a pour effet de faire monter l'huile par le petit tube, pour remplir la lampe. Le propriétaire de la lampe peut alors provoquer l'admiration de son entourage et obtenir des effets dignes de Trimalcion !

D'autres appareils mettent en scène des oiseaux, notamment en I,15 où une mésange chante par intermittence (fig. 8). Sur un socle étanche et vide, on a un grand vase dont le fond est relié au socle par un tube. A côté du vase, une coupe remplie d'eau, avec un oiseau sur son bord. Un tube recourbé part du socle pour aboutir dans la coupe, juste sous l'eau. Remplissons d'eau le premier vase. Cette eau va pénétrer dans le socle, et l'air qui s'y trouve en sera chassée et passera par le tube recourbé pour aboutir dans l'eau de la coupe, pro-

voquant un gargouillis à l'imitation du chant d'un oiseau. Héron précise que, selon le diamètre du tube et la longueur de sa partie immergée, on obtient des chants différents, selon les oiseaux qu'on veut imiter.

Mais dans le genre, on peut faire plus compliqué encore, comme en I,16, avec des oiseaux siffleurs qui s'arrêtent quand une chouette se tourne vers eux (fig. 9). On a le même dispositif que précédemment, avec une fontaine alimentant une vasque où se tiennent plusieurs oiseaux, dont deux ont une partie du corps, patte ou bec, qui plonge dans l'eau : c'est par là qu'aboutit le tube qui provoque le sifflement. Le socle est muni à sa base d'un siphon étranglé qui communique avec l'extérieur et qui s'amorce lorsque l'eau atteint son niveau. Le socle se vide alors par ce siphon, et naturellement, les oiseaux s'arrêtent alors de siffler, puisque, même si l'eau continue de s'écouler depuis la vasque, il n'y a plus d'air pour provoquer leurs gargouillis. En revanche, sous le socle, une cuve va se remplir. Cette cuve a un flotteur qui va s'élever et, par un système de poulie et de contrepoids, faire pivoter un axe supportant une chouette : elle va regarder les oiseaux, et on a l'impression que c'est son regard qui fait taire les oiseaux. Cette cuve est elle aussi munie d'un siphon étranglé à sa base qui, une fois amorcé, va vider la cuve. Le flotteur va alors redescendre, la chouette va à nouveau se détourner des oiseaux. Comme le socle se sera vidé de son eau, les oiseaux vont se remettre à chanter, puisque l'air du socle passera à nouveau par les oiseaux pour finir dans la vasque. Et l'opération recommencera. Seule la partie supérieure du dispositif doit être visible, pour que l'illusion soit parfaite.

Enfin, dernier exemple fascinant, en II,36, celui d'un animal dont on tranche la tête et qui boit ensuite tranquillement (fig. 10 et 11). Le texte est long et complexe, et de plus très corrompu. Il manque notamment toute la partie décrivant le bouvier qui pivote sur un axe. Mais l'essentiel se comprend bien : on coupe la tête d'un animal qui, malgré cette opération, conserve son intégrité, et se permet même de boire l'eau qu'on lui présente, grâce à un tube qui va du muffle au corps de l'animal. La partie délicate réside dans le passage du couteau censé trancher la tête, avec un montage bien décrit par Héron, qui fait intervenir deux disques munis d'entailles ou de dents agissant sur les crémaillères entourant un petit tube rendu ainsi mobile, pour permettre le passage du couteau lorsqu'il franchit le tube. La lame du couteau passe d'abord, du haut en bas, par un premier disque, mobile sur un axe, dont la partie extérieure est plus épaisse que la partie centrale, et qui a de larges échancrures. La lame du couteau descend donc par une échancrure et fait pivoter le disque : la tête de l'animal reste solidaire du corps par le disque inférieur, au-dessous du tube central. On fait ensuite descendre la lame, qui par le jeu de la crémaillère va pousser le petit tube intérieur de façon à passer à travers le conduit principal. Pendant cette partie de l'opération, la tête est solidaire du

corps par le disque supérieur. Puis la lame descend, agit à nouveau sur la crémaillère pour remettre le segment de tube en place, et ressort par le bas. L'animal n'a apparemment pas souffert et il peut boire l'eau qu'on lui offre. Le texte est mutilé, mais on voit bien en quoi consiste la mystification.

Ce sont là quelques appareils qui offrent un bon exemple de ce que présente Héron dans les *Pneumatiques*. On doit ajouter que le style d'Héron, malgré les difficultés des descriptions, est clair, avec des lettres renvoyant aux différentes parties d'un dessin qui accompagnait le texte dès l'origine. Héron a même parfois un esprit inventif en matière de vocabulaire. Ainsi, en I,14, il parle de deux vases, l'un vide, l'autre rempli de vin, et le vin ne peut s'écouler de ce dernier vase que si l'on verse de l'eau dans celui qui est vide. Il y a bien sûr tout un système qui déclenche cet écoulement, et il appelle ces vases les vases d'*ôpovoiaç*. Ce mot *ôpovoia* est inconnu. C'est une formation plaisante sur le modèle de *ôpovoia*, « la concorde ». Le jeu de mots est bien difficile à rendre en français, et dans notre traduction des *Pneumatiques*, J.-Y. Guillaumin et moi avons proposé de traduire ces deux cratères décrits par Héron par « cratères de convivialité », un néologisme suggéré par l'expression grecque.

Peut-on trouver une explication au désordre dans lequel Héron a présenté ses appareils dans ses *Pneumatiques* ? Il est vraisemblable que l'œuvre n'a pas été achevée : elle offre toutes les caractéristiques d'un stade intermédiaire, avec une partie cohérente dans le livre I, pour la préface et les premiers chapitres sur les siphons, puis un ensemble d'appareils décrits sans classement ordonné, d'ordinaire avec des lettres renvoyant à une figure accompagnant le texte, mais parfois avec un document bref, sans lettres de renvoi ni figure, simple résumé ou ébauche d'un texte à écrire sous sa forme définitive. Il est donc possible que nous ayons avec les *Pneumatiques* la dernière œuvre d'Héron, interrompue par la mort et restée inachevée. Autre question importante : Les appareils décrits ont-ils existé ou sont-ils purement théoriques, et, s'ils ont existé, quelle était leur taille ? On peut répondre sans craindre de se tromper que ces appareils ont existé, soit qu'Héron les tiennent de ses prédécesseurs, comme la pompe attribuée à Ctésibios ou les clepsydres, soit qu'il les ait vu fonctionner, ou qu'il les ait créés lui-même. D'ailleurs les fouilles archéologiques montrent que de nombreux dispositifs décrits par Héron étaient déjà connus bien avant lui. Tous ces appareils demeurent de petite taille, à base de vases, de lampes ou d'ustensiles de ce genre. Une fois, en I,10, l'auteur précise que la sphère utilisée doit avoir une contenance de six cotyles, soit un peu plus d'un litre et demi. L'autel de II,3 est en verre ou en corne, ce qui exclut un objet important. Tout suggère que les appareils proposés par Héron sont de petite taille, à caractère ludique.

Il n'en demeure pas moins que les *Pneumatiques* d'Héron d'Alexandrie ont connu un grand succès à la fin du Moyen Age, comme l'atteste le nombre très important des manuscrits de l'œuvre datés du XV^e siècle. Ce succès continue à la Renaissance, et l'œuvre est traduite à partir du XVI^e siècle, d'abord en latin, en Italie, *Heronis Alexandrini spiritalium liber*, A Federico Commandino Urbinatense, ex Græco, nuper in Latinum conversus, traduction publiée en 1575, avec nouvelle édition à Paris en 1583, et à Amsterdam en 1680 ; cette édition est restée l'édition de base des *Pneumatiques*, jusqu'à l'édition de W. Schmidt en 1899. Il y eut ensuite une traduction en italien, en 1589, par Gio. Batista Aleotti d'Argenta, qui ne s'appuie pas sur le texte grec, mais sur le texte latin de l'édition de Commandino, traduction publiée à nouveau à Bologne en 1647 et à Paris en 1693. Puis il y eut une autre traduction italienne, les *Spiritali di Herone Alessandrino, ridotte in lingua volgare da Alessandro Giorgi*, publiée à Urbino en 1592, avec réédition à Venise en 1595 (Galilée possédait dans sa bibliothèque un exemplaire de cette traduction d'Alessandro Giorgi). En 1693, Thévenot publie à Paris le texte grec des *Pneumatiques* dans les *Veterum mathematicorum opera*, et en 1854, Th.-Henri Martin publie une étude générale sur Héron d'Alexandrie, *Recherches sur la vie et les ouvrages d'Héron d'Alexandrie, disciple de Ctésibios, et sur tous les ouvrages mathématiques grecs*, Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres, 1^e série, V, Paris, 1854. En 1882, A. de Rochas publie à Paris une traduction des *Pneumatiques* dans *La science des philosophes et l'art des thaumaturges dans l'Antiquité*, traduction intéressante, même si elle ne suit pas, et pour cause, le texte que W. Schmidt a publié en 1899. Enfin il faut signaler la traduction anglaise publiée par B. Woodcroft, *The Pneumatics of Hero of Alexandria from the Original Greek translated*, Londres, 1851, traduction republiée par M. Boas Hall, *The « Pneumatics » of Hero of Alexandria : A Facsimile of the 1851 Woodcroft Edition*, Londres, 1971³¹.

31 - Pour toutes ces éditions des *Pneumatiques*, cf. M. BOAS, « Hero's *Pneumatica*. A Study of Its Transmission and Influence », *Isis* 40, 1949, 38-48.

Bibliographie succincte

- Argoud G., « Héron d'Alexandrie, mathématicien et inventeur », dans G. Argoud éd., *Science et Vie intellectuelle à Alexandrie (I^{er}-III^{es} s. ap. J.-C.)*, Mémoires XIV du Centre Jean-Palmerie, Saint-Étienne, 1994, p. 53-65.
- Argoud G., « Héron d'Alexandrie et la machine à vapeur », dans B. Jacquinoed éd., *Actes du XXVIII^e Congrès A.P.L.A.E.S., Saint-Étienne, 19-21 mai 1995*, Centre Jean-Palmerie, Saint-Étienne, 1995, p. 29-38.
- Argoud G. et Guillaumin J.-Y., *Les Pneumatiques d'Héron d'Alexandrie*, Traduction et notes, Mémoires XV du Centre Jean-Palmerie, Saint-Étienne, 1997.
- Beaujeu J., « La littérature technique des Grecs et des Romains », *Actes du Congrès Guillaume Budé*, 1948, 21-88.
- Bedini S., « The Role of Automata in the History of Technology », *Technology and Culture*, Chicago, 5, 1964, 24-41.
- Boas M., « Hero's *Pneumatica*. A Study of Its Transmission and Influence », *Isis* 40, 1949, 38-48.
- Boas Hall M. ed., *The « Pneumatics » of Hero of Alexandria : A Facsimile of the 1851 Woodcroft Edition*, Londres, 1971. (CR : Mayr O., *Isis*, 1972, vol. 63, n° 216, pp 116, en anglais. Keller A. G., *Ann. Sci.*, 1972, vol. 28, n° 3 pp 307, en anglais. Bruins E. M., *Janus*, 1971, vol. 58, n° 2, pp 149, en anglais. Bockstaele P., *Sci. Hist.*, 1972, vol. 14, n° 2, pp 64, en hollandais).
- Brumbaugh R. S., *Ancient Greek Gadgets and Machines*, New York, 1966.
- Brunet P. et Miélli A., *Histoire des sciences. Antiquité*, Paris, 1935.
- Burstall A. F., *A History of Mechanical Engineering*, Londres-New York, 1963.
- Camp L. S. de, *Ancient Engineers*, Londres, 1977.
- Carra de Vaux B., « Les Mécaniques ou l'élévateur de Héron d'Alexandrie publiées pour la première fois sur la version arabe de Qostâ Ibn Lûqâ (IX^e siècle), et traduites en français », *Journal asiatique*, IX^e série, tome II, 1893, 152-289 et 420-514.
- Caveing M. et Noil E., « D'Alexandrie à Byzance », *Le matin des mathématiciens. Entretiens sur l'histoire des mathématiques*, Paris, éd. Belin, 1985, 83-92.
- Chapuis A. et Droz E., *Les Automates*, Neuchâtel, 1949.
- Cohen M. R. et Drabkin I. E., *A Source Book in Greek Science*, Cambridge, Mass., 1958.

- Daumas M., *Histoire générale des techniques*, Paris, 1962.
- Drachmann A. G., « Heron and Ptolemaios », *Centaurus* 1, 1950, 117-131.
- Drachmann A. G., *Ktesibios, Philon and Heron, A Study in Ancient Pneumatics*, Copenhagen, 1948.
- Drachmann A. G., *The mechanical technology of Greek and Roman Antiquity. A Study of the Literary Sources*, Copenhagen, 1963.
- Farrington B., *La Science dans l'Antiquité*, Paris, Payot, 1967.
- Forbes R. J., « The Ancients and the Machine », *Archives internationales d'histoire des sciences* 28, 1949, 919-933.
- Fraser P. M., *Ptolemaic Alexandria*, 3 vol., Oxford, 1972.
- Gille B., « Histoire des Techniques », *Annuaire de l'École Pratique des Hautes Études, IV section, sciences historiques et philologiques*, 1974-75, 697-728.
- Gille B., *Histoire des techniques*, Paris, 1978.
- Gille B., *Les Mécaniciens grecs : la naissance de la technologie*, Paris, 1980.
- Gille B., « Machines », in Singer ed. *History of Technology II*, Oxford, 1956, 629-658.
- Hammer-Jensen I., « Die Druckwerke Herons von Alexandria », *Neue Jahrbucher für das klassische Altertum* 25, 1910, 413-427 et 480-503.
- Hammer-Jensen I., « Ptolemaios und Heron », *Hermes* 48, 224-235.
- Hill D. R., *A History of Engineering in Classical and Medieval Times*, Londres, 1984.
- Hodges H. W., *Technology in the Ancient World*, New York, 1970.
- Hoppe E., « Heron von Alexandrien », *Hermès*, 62, 1927, 69-105.
- Kretschmer F., *La technique romaine*, Bruxelles, 1966.
- Landels J. G., *Engineering in the Ancient World*, Londres, 1978.
- Lee D., « Science, Philosophy and Technology in the Greco-Roman World », *G&R* 20, 1973, 65-78 ; 180-193.
- Letronne, *Recherche sur les fragments d'Héron*, Paris, 1852.
- Lloyd G. E. R., *Greek Science after Aristotle*, Londres, 1973.
- Loret C., « Recherches sur l'orgue hydraulique », *Rev. Archéologique*, 1890, p. 8 sq.
- Martin Th.-Henri, *Recherches sur la vie et les ouvrages d'Héron d'Alexandrie, disciple de Ctésibios, et sur tous les ouvrages mathématiques grecs*, Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres, 1e série, V, Paris, 1854.
- Mayr O., *Philosophers and Machines*, Science History Publications, New York, 1976, vol. 26, 193 p.
- Montauzan C. Germain de, *Essai sur la science et l'art de l'ingénieur*, Paris, 1909.

- Neuburger A., *The Technical Arts and Sciences of the Ancients*, New York, 1930.
- Neugebauer O., « Über eine Methode zur Distanzbestimmung Alexandria-Rom bei Heron », *Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab. Historisk-filologiske Meddelelser*, 1938, 26, 2.
- Oleson J. P., *Greek and Roman Mechanical Water-Lifting Devices : The History of a Technology*, Toronto-Dordrecht (Hollande), 1984.
- Orinsky K., Neugebauer O. et Drachmann A. G., « Philon (48) », *RE XX* 1, 1941, 53-54.
- Payen J., « Trois publications à l'occasion du centenaire de l'Institut technico-industriel Aldini-Valierani », *Rev. d'Hist. des Sciences*, 1982, vol. 35, n° 2, 155-157.
- Pellati F., « L'ingegneria idraulica ai tempi dell'impero romano », *La scienza e la tecnica ai tempi di Roma imperiale* 12, 1940.
- Pleket H. W., « Technology and Society in the Graeco-Roman World », *Acta Historiae Neerlandica* 2, 1967, 1-25.
- Pleket H. W., *Technology in the Greco-Roman World : A General Report* », *Talanta* 5, 1973, 6-47.
- Prager F. D., *Philo of Byzantium : Pneumatica*, Wiesbaden, 1974.
- Préaux C., « Grandeur et limites de la science hellénistique », *Chronique d'Égypte* 50, 1975, 215-238.
- Price D. de Sola, « Automata and the Origins of Mechanism and Mechanistic Philosophy », *T&C* 5, 1962, 9-23.
- Prou M., *Les théâtres d'automates en Grèce*, Paris, 1880.
- Rey A., *L'Apogée de la science technique grecque*, 2 vol., Paris, 1946-1948.
- Rochas A. de, *La science des philosophes et l'art des thaumaturges dans l'Antiquité*, Paris, 1882 ; 2^e éd. Paris, 1912.
- Rochas A. de, *Les origines de la science et ses premières applications*, Paris, 1884.
- Rouse H. and Ince S., *History of Hydraulics*, New York 1957.
- Rousseau P., *Histoire des techniques et des inventions*, Paris, 1958.
- Ruelle C.-E., « Hydraulis », *Dar.-Sag.* III 1, 1900, 312-318.
- Russo F., *Éléments de bibliographie de l'histoire des sciences et des techniques*, Paris, 1969.
- Sablière J., *De l'automate à l'automatisation*, Paris, 1966.
- Schmid W., *Automatologie*, Munich, 1952.
- Schmidt W., *Heronis Alexandrini opera quae supersunt omnia*, vol I., *Pneumatica, Automata*, Leipzig, 1899 (édition Teubner. Au total 5 vol. : vol.

2, *Mecanica, Catoptrica*, éd. Schmidt ; vol. 3, *Metrica, Dioptre*, éd. Schöne ; vol. 4, *Définitions, Geometrica*, éd. Heiberg ; vol. 5, *Stereometrica, De mensuris*, éd. Heiberg).

Schmidt W. « Leonardo da Vinci und Heron von Alexandria », *Bibliotheca Mathematica* 3, 3, 1902, 180-187.

Singer Ch. ed., *An history of technology, tome 1, The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, c. 700 BC to c. AD 1500*, Oxford, 1956 (au total 7 vol., réimp. 1967, puis 1979).

Smith R. B., « The Alexandrian Scientific Tradition », *Akroterion* XXI 2, 1976, 14-21.

Sprague du Camp, *Die Ingenieur der Antike*, Düsseldorf, 1968.

Stahl W. H., *Roman Science*, Madison, 1962.

Tannery P., « Athénée sur Ctésibios et l'hydraulis », *REG*, IX, 1896.

Tannery P., « L'invention de l'hydraulis », *REG* 21, 1908, 326-340.

Tannery P., *Mémoires scientifiques. Sciences exactes dans l'antiquité*, 3 vol., Paris, 1912-1915. Notamment :

Vol. I- « Sur les fragments d'Héron d'Alexandrie conservés par Proclus », 156-157.

- « L'arithmétique des Grecs dans Héron d'Alexandrie », 181-212.

- « La stéréotomie d'Héron d'Alexandrie », 397-421.

- « Études héroniennes », 422-448.

Vol. II - « Questions héroniennes », 137-178.

- « Un fragment des *Métriques* d'Héron », 447-450.

- « Sur un fragment des *Métriques* d'Héron », 451-454.

Vol. III-« Heronis Alexandrini opera quae supersunt omnia », 131-157 (après la découverte, en 1896, des *Mécaniques*).

- « Notes critiques sur les *Metrica* d'Héron », 196-207.

Tittel C. R., « Heron (5) », *RE* VIII 1, 1912, 992-1080.

Usher A. P., *A History of Mechanical Inventions*, 2^e éd. Cambridge, Mass., 1966.

White K. D., *Greek and Roman Technology*, 1986.

Woodcroft B., *The Pneumatics of Hero of Alexandria from the Original Greek translated and edited by ...*, Londres, 1851.

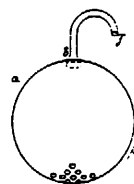


fig. 1, Clepsydra I,7
(Schmidt W., fig. 8).

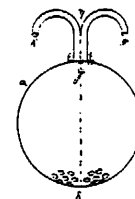


Fig. 2, Clepsydra I,8
(Schmidt W., fig. 9 a).

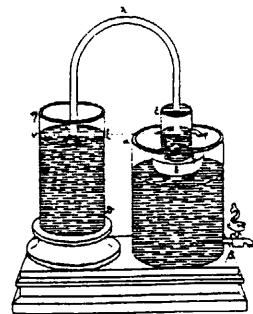


fig. 3, vase merveilleux I, 25 : un vase
fourni du vin quand on verse de l'eau
dans un autre vase (Schmidt W., fig. 26).

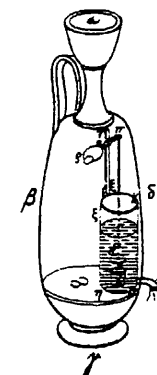


fig. 4, distributeur
de liquide I, 21.
(Schmidt W., fig. 22)

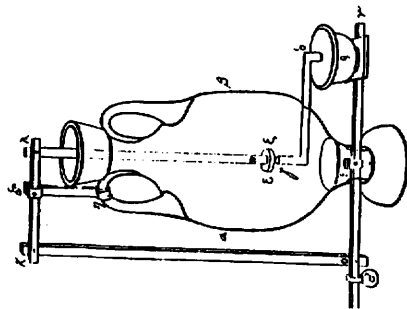


fig. 5, distributeur de liquide II,30
(Schmidt W., fig. 74).

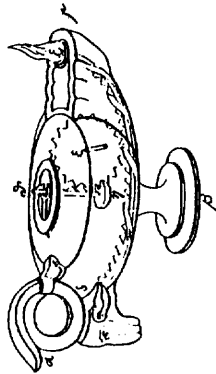


fig. 6, lampe dont la mèche avance toute
seule quand elle se consume
(Schmidt W., fig. 35).

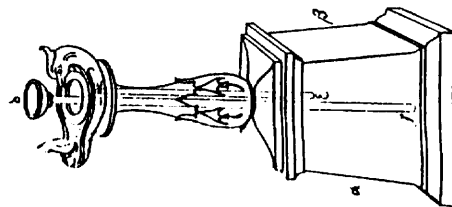


fig. 7, lampe II, 24 qu'on alimente en
l'huile en y versant de l'eau
(Schmidt W., fig. 68).

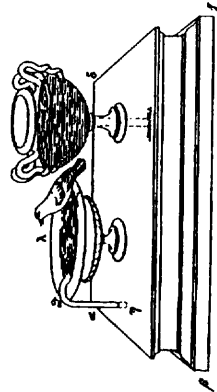


fig. 8, Le chant de la mésange (I,15)
(Schmidt W., fig. 16).

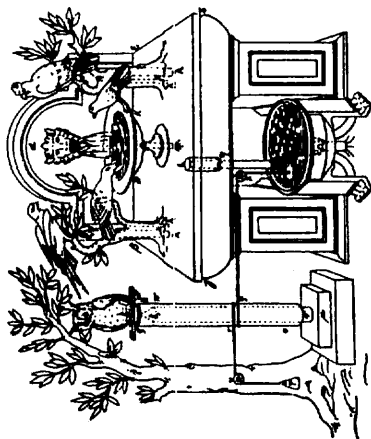


fig. 9, les oiseaux et la chouette (I, 16)
(Schmidt W., fig. 17).

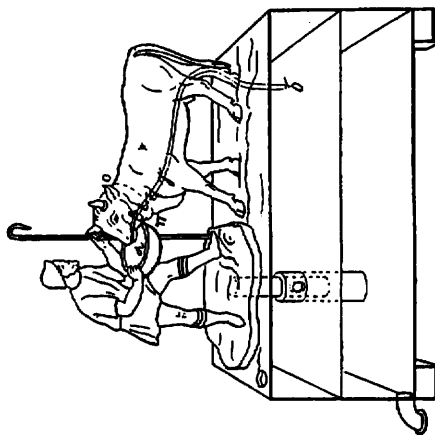


fig. 10, animal qui boit après avoir
eu la tête tranchée
(Schmidt W., fig. 80).

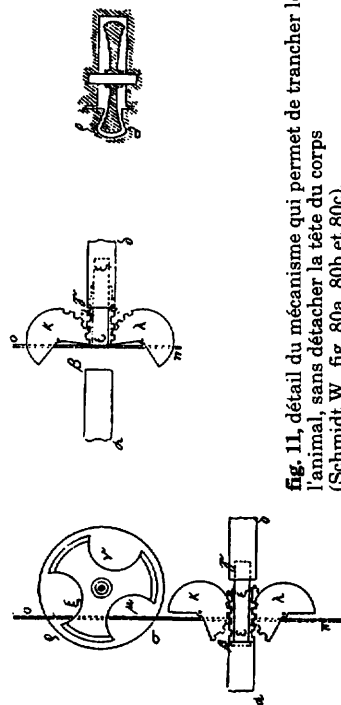


fig. 11, détail du mécanisme qui permet de trancher le cou de
l'animal, sans détacher la tête du corps
(Schmidt W., fig. 80a, 80b et 80c).