



HAL
open science

Vitruve et la mécanique romaine

Philippe Fleury

► **To cite this version:**

Philippe Fleury. Vitruve et la mécanique romaine. *Geschichte der Mathematik und der Naturwissenschaften in der Antike*. 3: Physik-Mechanik, 3, F. Steiner, pp.184-203, 2005, 3-515-08742-7. hal-01609506

HAL Id: hal-01609506

<https://hal.science/hal-01609506v1>

Submitted on 3 Oct 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Sonderdruck aus:

Physik / Mechanik

Herausgegeben von
ASTRID SCHÜRMAN

(Geschichte der Mathematik und der
Naturwissenschaften 3)



Franz Steiner Verlag Stuttgart 2005

Philippe Fleury

Vitruve et la mécanique romaine

Vitruve est pour nous, aujourd'hui, l'unique représentant de la mécanique romaine¹ comme il est l'unique auteur sur l'architecture ancienne dont nous ayons conservé les écrits. Son témoignage est donc précieux et en même temps dangereux car il y a risque de généralisation à partir de données nécessairement subjectives et partielles. Le risque est toutefois moins grand pour la mécanique que pour l'architecture prise dans son ensemble car, si nous avons perdu toute trace des autres traités de mécanique écrits en langue latine (il dut de toute façon y en avoir fort peu), il nous reste au moins les œuvres de quelques mécaniciens grecs. A l'inverse l'archéologie est d'un plus grand secours pour se représenter les réalisations pratiques de l'architecture ancienne. Les machines, essentiellement faites de bois, n'ont laissé que de pauvres vestiges. L'iconographie supplée partiellement à ce manque, mais c'est surtout grâce aux renseignements puisés çà et là dans l'ensemble de la littérature grecque et romaine (pas seulement scientifique et technique) que nous pouvons reconstituer ce que fut la mécanique ancienne tant pour ses aspects théoriques que pour ses aspects pratiques. Dans ce chapitre nous avons focalisé l'éclairage sur l'œuvre de Vitruve. Nous tenterons d'abord de situer l'auteur, socialement et culturellement. Nous examinerons ensuite ce que nous appelons son "encyclopédie mécanique", car telle fut bien son intention de parcourir tous les domaines de la mécanique théorique et pratique. Nous nous interrogerons enfin sur ses perspectives, ses sources, la tradition à laquelle il appartient et sur son éventuelle influence.

Vitruve, l'architecte mécanicien

Vitruve a probablement rédigé son *De architectura* entre 35 et 25 a.C. Le livre X de ce traité est entièrement consacré à la *machinatio*, une des trois parties de l'architecture selon l'auteur: "L'architecture elle-même comprend trois parties: la construction des bâtiments, la gnomonique et la mécanique".² Nous ne trou-

¹ "Mécanique grecque" et "mécanique romaine" sont deux expressions consacrées par l'usage dont la signification est moins évidente qu'il n'y paraît. Elles sont généralement utilisées pour parler des traités de mécanique et des textes sur les machines en langue grecque d'un côté, en langue latine de l'autre; c'est en ce sens que nous parlons de "mécanique romaine" ici. Mais si Vitruve est le seul à avoir écrit en latin sur la mécanique, son contemporain, Athénée le Mécanicien, qui écrivait en langue grecque, était tout aussi "mécanicien romain" que lui et il en est de même pour Apollodore de Damas un siècle et demi plus tard.

² Vitruve 1.3.1: "Partes ipsius architecturae sunt tres: aedificatio, gnomonice, machinatio."

vons nulle part
tectura, mais
personnes qu
pendant aujou
l'ingénieur.³ I
tuer, est un b
pour son acti
aussi des act
sous lequel il
chines de jet⁵
a.C.?) et de li
coup interro
scriba est plu
tants désigné
cialités diver
raults (*praec*
nant aussi à
autre magist
puis par Oct
sûr en tout c
l'architecte

³ Pour un
Architekten de
gen: Universi

⁴ Vitruve
diosus" (d'au
d'abord été c
valeur); sur l'
duit et comm
XXIV pour u

⁵ Vitruve
nélius de la
(apparatione

⁶ En 8.6.
personne: "I
Frontin dit q
pour le dian
architectus"
vice des eau
ra. Livre VII
p. X.

⁷ Cf. Vi
⁸ P. Gro
Vitruve. Ac
çaise de Ro

⁹ Cf. N.
at Rome 51

¹⁰ La si

vons nulle part ailleurs un tel rattachement explicite de la *machinatio* à l'*architectura*, mais de nombreux exemples littéraires et épigraphiques attestent que les personnes qualifiées d'*architectus/architekton* occupaient des fonctions correspondant aujourd'hui à la fois au métier de l'architecte proprement dit et à celui de l'ingénieur.³ La carrière de Vitruve, telle du moins que nous pouvons la reconstituer, est un bon exemple de cette double fonction. Remarqué d'abord par César pour son activité édilitaire,⁴ il s'est attaché à son service (en exerçant peut-être aussi des activités d'ingénieur militaire), puis il est passé au service d'Octave sous lequel il a été chargé notamment de la construction et de l'entretien de machines de jet⁵ (à partir de 43 a.C.?), de responsabilités au service des eaux⁶ (en 33 a.C.?) et de la construction de la basilique de Fano⁷ (vers 30 a.C.). On s'est beaucoup interrogé sur son statut social. L'hypothèse de P. Gros faisant de lui un *scriba* est plutôt convaincante.⁸ Les magistrats romains étaient entourés d'assistants désignés par le terme générique d'*apparitores*. Ces fonctionnaires aux spécialités diverses: scribes (*scribae*), messagers (*uiatores*), licteurs (*lictiores*), hérauts (*praecones*), étaient rémunérés par un magistrat particulier, mais, appartenant aussi à un corps constitué, une *decuria*, ils pouvaient passer au service d'un autre magistrat.⁹ C'est ainsi que Vitruve aurait pu être "salaire" d'abord par César puis par Octave, en tant que *decurialis scriba armamentarius* par exemple. Il est sûr en tout cas qu'il est né de parents libres (à la différence du L. Vitruvius Cerdo, l'architecte de l'arc des Gavii à Vérone, qui, lui, était un affranchi¹⁰) et il leur

³ Pour un relevé des témoignages épigraphiques, voir le catalogue de M. Donderer, *Die Architekten der späten römischen Republik und der Kaiserzeit. Epigraphische Zeugnisse* (Erlangen: Universitätsbibliothek Erlangen-Nürnberg 1996).

⁴ Vitruve 1 praef. 2: "ideo quod primum parenti tuo de eo fueram notus et eius uirtutis studiosus" (d'autant que c'est dans ce domaine [*i.e.* la construction d'édifices publics] que j'avais d'abord été connu de ton père [*i.e.* le père (adoptif) d'Octave] et que je m'étais attaché à sa valeur); sur l'interprétation difficile de "de eo", cf. Vitruve, *De architectura. Livre I*, édité, traduit et commenté par Philippe Fleury (CUF, Paris: Les Belles Lettres 1990), p. 56-57 et p. XVI-XXIV pour une discussion générale sur la date de l'auteur.

⁵ Vitruve 1 praef. 2: "C'est pourquoi je fus chargé avec M. Aurélius, P. Minidius et Gn. Cornélius de la fourniture et de l'entretien des balistes, scorpions et autres machines de jet ... (apparationes ballistarum et scorpionum reliquorumque tormentorum refectionem)".

⁶ En 8.6.2, à propos de questions d'adduction publique de l'eau, Vitruve utilise la première personne: "la raison pour laquelle j'ai établi cette répartition [*i.e.* des adductions d'eau]", et Frontin dit qu'on lui attribue, en concurrence avec Agrippa, l'introduction d'un nouveau module pour le diamètre des tuyaux d'eau (*De Aquis* 25.1; voir aussi 25.2). Si toutefois "Vitruvius architectus" dont parle Frontin est bien l'auteur du *De architectura*, ses responsabilités au service des eaux ont pu commencer avec l'édilité d'Agrippa en 33 a.C.; cf. Vitruve, *De architectura. Livre VIII*, édité, traduit et commenté par L. Callebaut (CUF, Paris: Les Belles Lettres 1973), p. X.

⁷ Cf. Vitruve 5.1.6-10. Octave établit une compagnie de vétérans à Fano vers 30 a.C.

⁸ P. Gros, *Munus non ingratum. Le traité vitruvien et la notion de service*, in: *Le projet de Vitruve. Actes du Colloque international de Rome (26-27.3.1993)*, Collection de l'École Française de Rome 192 (Paris: De Boccard, Rome: L'Erma di Bretschneider 1994), p. 75-90.

⁹ Cf. N. Purcell, *The Apparitores: a Study in Social Mobility*, in: *Papers of the British School at Rome* 51 (1983), p. 125-173.

¹⁰ La signature "L. Vitruvius L(ucii) L(iberti) Cerdo architectus" (CIL V, 1.3464) apparaît

rend grâce de lui avoir procuré une bonne éducation. Nous avons ainsi avec le *De architectura* l'œuvre à la fois d'un praticien et d'un homme cultivé: il a lu en grec et en latin des traités d'architecture et de mécanique, aussi bien théoriques que pratiques, et le témoignage qu'il nous livre a une valeur considérable pour saisir le niveau de connaissances d'un ingénieur de la fin du 1^{er} siècle a.C.

Malgré un grand nombre de difficultés de détail, le *De architectura* nous est parvenu globalement dans un assez bon état de conservation. La tradition actuelle (environ 80 manuscrits) remonte à un archétype unique (datant sans doute du VIII^e siècle) qui semble complet hormis les figures. Le plan est en effet bien marqué et rappelé à plusieurs reprises du début jusqu'à la fin. Le livre I est consacré aux définitions, à la formation de l'architecte et à l'urbanisme, le livre II aux matériaux, les livres III et IV aux temples, le livre V aux autres édifices publics, le livre VI aux maisons privées, le livre VII à la décoration, le livre VIII à l'hydrologie et à l'hydraulique, le livre IX à l'astronomie et à la gnomonique, le livre X à la mécanique. Ce dernier livre, de loin le plus long de tous, est bien entendu celui qui nous intéresse ici en premier lieu. Il contient trois parties de longueurs inégales. Le premier chapitre donne des définitions et un historique de la mécanique. Les chapitres II à IX traitent de la mécanique civile mais, à l'intérieur de cette partie, est inclus un chapitre de mécanique théorique (chap. III). Les chapitres X à XVI sont dédiés à la mécanique militaire. Pour avoir une vue d'ensemble de la "mécanique de Vitruve" et, partant, de la mécanique romaine à la fin de la République et au début de l'Empire, il est cependant nécessaire d'inclure dans notre réflexion l'ensemble du *De architectura* et en particulier les livres VIII et IX (hydraulique et gnomonique) qui sont eux aussi du ressort du *mecanicus/mêchanikos*.

L'encyclopédie mécanique de Vitruve

I. Les théories mécaniques

A. L'Origine de la mécanique et la genèse des inventions

Pour Vitruve "l'ensemble de la mécanique a son origine dans la nature et son principe dans la rotation du monde qui en a été l'initiateur et le guide".¹¹ C'est en observant la rotation des astres que les hommes auraient eu l'idée d'utiliser le mouvement circulaire, fondement des principes mécaniques pour l'architecte romain, nous y reviendrons. Au départ il s'agirait d'une simple imitation: les

deux fois sur l'arc de Véronne. Compte-tenu de la date de construction de ce monument (début du 1^{er} siècle p.C.), cet architecte pourrait être l'affranchi d'un descendant de l'auteur du *De architectura*. Bien que Vitruve ne fasse allusion à aucun membre de sa famille autre que ses parents, on sait qu'à son époque les compétences du type de celles de l'architecte se transmettaient souvent à l'intérieur de la *gens*.

¹¹ Vitruve 10.1.4: "Omnis autem est machinatio rerum natura procreata ac praeceptrice et magistra mundi uersatione instituta."

hommes ont remarqué les bienfaits du mouvement circulaire du soleil, puisque c'est grâce à l'alternance du jour et de la nuit, grâce à l'alternance des saisons, que les fruits de la terre parviennent à maturité. Ils ont donc cherché à utiliser le mouvement circulaire comme plus généralement ils ont cherché à imiter la nature pour améliorer leurs conditions de vie. Vitruve ne s'étend pas beaucoup sur cette idée. Il doit songer à l'invention de la roue naturellement, à la poulie, à la vis, mais aussi au principe du levier qui repose en fait sur la différence de vitesse de rotation des points de cercles concentriques. Cette expression de l'harmonie entre mécanique et nature est intéressante car elle contraste avec cette autre idée, fortement exprimée dans les textes anciens, de l'opposition entre *machinal/mêchané* d'un côté, *natural/physis* de l'autre: la mécanique est en effet ce qui permet de lutter contre la nature ou ses lois; par exemple lever un corps pesant, franchir une rivière ou un océan, lutter contre le froid, projeter un objet dans les airs etc.¹² Vitruve fait sienne cette conception du reste puisque pour lui les inventions naissent certes du besoin (*necessitas*) mais surtout de la volonté d'aller au-delà du besoin: le métier à tisser est né du besoin de se vêtir, mais aussi de se parer; le joug et l'araire permettent de se nourrir en abondance, d'aller au-delà de ce qu'offre la nature sauvage; les presses permettent des produits "de plaisir" (*adiucunditatem*): l'huile et le vin; les balances permettent la vie sociale en garantissant la justice contre la malhonnêteté.¹³

B. Les principes des systèmes mécaniques

Suivant une tradition que nous avons conservée dans quelques textes grecs,¹⁴ Vitruve consacre un chapitre à une réflexion sur les principes des systèmes mécaniques:¹⁵ pour lui le principe essentiel de tout mouvement mécanique est l'association de la ligne droite (*porrectum*) et du cercle (*rotundatio*). Mais il ne faut pas comprendre la "ligne droite" comme le support d'un mouvement de translation: chez Vitruve il s'agit de l'axe (*centrum*) autour duquel tourne le cercle. Nous retrouvons ici l'opposition aristotélicienne du fixe et du mobile. Une fois ce principe posé Vitruve l'applique à neuf "machines": dans la poulie la ligne

¹² Cf. par exemple Pseudo-Aristote, *Mechanica problemata*, praef.: "Chaque fois qu'il faut faire quelque chose contre la nature, nous sommes embarrassés par la difficulté et nous avons besoin de la technique. C'est pourquoi nous appelons la partie de la technique qui vient à notre secours face à de telles difficultés la mécanique (*mêchanê*)". Voir aussi la lettre de Sénèque à Lucilius (90) dans laquelle, en désaccord avec Posidonius, il refuse à la philosophie la "gloire des inventions mécaniques", considérant qu'au contraire la nature fournit d'elle-même à l'homme tout ce qui est nécessaire pour son existence. Pour ces questions, voir le deuxième chapitre du livre d'Astrid Schürmann, *Griechische Mechanik und antike Gesellschaft* (Stuttgart: Steiner 1991), p. 33-59: "*Hê mêchanikê technê: Definition und theoretische Grundlagen einer technischen Wissenschaft*". L'excellente bibliographie à la fin de cet ouvrage couvre l'ensemble des questions abordées ici.

¹³ Vitruve 10.1.4-6.

¹⁴ Pseudo-Aristote, *Mechanica problemata*; Héron, *Mechanica*, livre II.

¹⁵ Vitruve 10.3.

droite est l'axe (*axiculus*), le cercle est la circonférence du réa (*orbiculus*); dans le treuil, il s'agit des tourillons (engagés dans les montants du support) et du cercle parcouru par les têtes des leviers; dans le levier, du point d'appui et des arcs parcourus par les deux points d'application des forces (force motrice et force résistante); dans la balance (romaine), de la poignée et de l'arc parcouru par les deux extrémités du fléau; dans la rame-gouvernail, du point d'attache de la rame au navire (on voit à partir de là comme la notion de "ligne droite" devient toute théorique pour ne plus renvoyer qu'à un point fixe virtuel) et des arcs parcourus par la poignée et la pale; dans la voile, du pied du mât et de l'arc parcouru par l'extrémité du mât; dans la rame, du tolet et des arcs parcourus par la poignée et la pale; dans les perches des portefaix et le joug, du point d'attache de la courroie et de l'arc parcouru par l'extrémité des perches ou du joug. Vitruve termine son chapitre en étendant ce principe d'association de la ligne droite et du cercle à tous les domaines de la mécanique: "le mouvement de ces appareils étant ainsi déterminé par des lignes droites au centre (*ad centrum porrectionibus*) et par des cercles (*circinationibus*), il appert que les chariots aussi, les chars, les tambours, les roues, les vis, les scorpions, les balistes, les pressoirs et toutes les autres machines produisent d'après les mêmes principes les résultats attendus: en tournant autour d'un axe rectiligne (*porrectum centrum*) et par rotation d'un cercle (*rotationem circini*)".¹⁶ On voit bien qu'au cœur de cette réflexion il y a le principe fondamental du levier, probablement la première "machine" de l'homme, et effectivement le levier se réduit en théorie à deux cercles tournant autour d'un même axe: plus le rapport entre le rayon du petit cercle (celui correspondant au point d'application de la résistance) et le rayon du grand cercle (celui de la force motrice) est important, plus la charge sera facile à lever et à déplacer. Mais le souci de systématiser conduit à mettre sur le même plan des systèmes très différents. Dans la liste donnée par Vitruve certains systèmes tirent bien leur efficacité du principe des cercles concentriques: c'est le cas du levier lui-même, du treuil ou de la balance dite "romaine"; pour les perches des portefaix ou pour le joug des animaux, le déplacement du point d'attache de la courroie vers l'un des deux hommes ou des deux animaux aura simplement pour effet de soulager l'effort de l'autre sans apporter plus d'efficacité à l'ensemble du système; dans le cas de la voile, le principe du levier vient même en contradiction avec la bonne marche du navire; si pour une même surface de toile une voile placée plus haut fera marcher le navire un peu plus vite, c'est que le vent est plus fort à une certaine hauteur qu'au ras de l'eau, mais le principe du levier aura dans ce cas un effet néfaste en faisant enfourner le navire au vent arrière et en le faisant giter au vent de travers; quant à la poulie et à la roue, elles n'ont rien à voir avec le principe du levier: dans les deux cas il ne s'agit que d'une question de frottement. Seulement Vitruve ne retient du principe du levier que le mouvement circulaire et étend ce principe du cercle à toutes les machines (qu'il y ait ou non effet de levier), ce qui le conduit à être incohérent entre sa définition de la *machina* et la description des différents types de machines.

¹⁶ Ibid. 10.3.9.

C. La définition du mot *machina* – La distinction avec *organum*

Le mouvement circulaire est encore au centre de la définition que Vitruve nous livre du mot *machina*. Comme toutes les définitions données dans les textes anciens, celle-ci ne peut ni avoir valeur générale pour l'ensemble de l'Antiquité ni même correspondre au sens donné à *machina* par tous ses contemporains: "Une machine est un ensemble de pièces de bois solidaires, ayant une très grande efficacité pour le déplacement des charges. Elle est actionnée par rotations, suivant le principe du mouvement circulaire que les Grecs appellent *kyklikê kinêsis*".¹⁷ En réalité Vitruve ne définit pas ici *machina* dans son sens générique, mais dans son sens particulier de "machine de levage, chèvre". *Machina*, en effet, pour ne parler que de son acception concrète,¹⁸ a deux sens: un sens générique très large désignant tout système inventé par l'homme pour augmenter ses capacités, qu'elles soient de levage (chèvres ...), d'élévation (échelle, échafaudage), de déplacement (navire, chariot ...), de produire de la musique (orgue ...), etc. et un sens particulier de "machine de levage".¹⁹ Nous le trouvons avec ce sens particulier chez Lucrèce,²⁰ Cicéron,²¹ Horace,²² Tite-Live,²³ Sénèque,²⁴ mais Vitruve utilise aussi le mot avec son sens générique: si un quart des occurrences du mot *machina* (15/59) dans le *De architectura* renvoient bien aux machines de levage, toutes les autres renvoient à des machines qui ne "déplacent pas des charges" (25 occurrences pour désigner des machines de guerre), qui ne sont pas en bois (par exemple l'orgue hydraulique), qui n'ont aucun mouvement circulaire (par exemple les échafaudages) ...

En terme générique, pour désigner les machines, Vitruve utilise aussi le mot *organum* qui est à son époque un emprunt relativement récent au grec (attesté pour la première fois en latin chez Cicéron) alors que *machina* est déjà utilisé chez Plaute. Dans le passage où il situe l'origine de la mécanique dans l'observation de la nature il dit que les hommes, imitant et s'inspirant des ouvrages divins en tirèrent des applications pratiques qu'ils confièrent pour une part aux machines et à leurs rotations (*alia machinis et earum uersationibus*), pour quelques autres aux "instruments" (*nonnulla organis*).²⁵ On pourrait en conclure (et c'est ce qui est fait quelquefois un peu hâtivement) que la *machina* est un ensemble complexe (avec des pièces mobiles) alors que l'*organum* est un instrument, un

¹⁷ Vitruve 10.1.1: "Machina est continens e materia coniunctio maximas ad onerum motus habens uirtutes. Ea mouetur ex arte circulorum rotundationibus, quam Graeci *kyklikên kinêsin* appellant."

¹⁸ Abstraitement, *machina* désigne aussi la ruse, la machination, le stratagème ...

¹⁹ Nous avons développé l'argumentation dans Philippe Fleury, *Dénomination générique, dénominations particulières. L'exemple des machines de levage en latin*, in: *Voces 8-9* (1997-1998), p. 171-189.

²⁰ Lucrèce 4, 905-906.

²¹ Cicéron, *In Verrem* 2.1.145 et 147.

²² Horace, *Epistulae* 2.2.73; *Carmina* 1.4.1-2.

²³ Tite-Live 25.11.18; 39.50.3.

²⁴ Sénèque, *Phoenissae* 566-570.

²⁵ Vitruve 10.1.4.

outil. La distinction que Vitruve fait lui-même explicitement ruine cette opposition: "Entre machines (*machinae*) et instruments (*organum*), la différence paraît être que l'efficacité des machines dépend de plusieurs opérateurs, c'est-à-dire d'une force plus grande: ainsi pour les balistes et les madriers des presses; c'est en revanche par la main habile d'un seul opérateur que les instruments exécutent ce que l'on attend d'eux: ainsi les rotations du scorpion et des trains d'engrenages".²⁶ Il y a donc bien mouvement de rotation et machine complexe dans les deux cas. Vitruve fonde sa distinction sur deux critères: le nombre d'opérateurs (un seul opérateur pour l'*organum*, plusieurs pour la *machina*) et sur les notions de force et d'habileté (la force, la puissance est liée à la *machina*, l'habileté à l'*organum*). Les exemples choisis corroborent cette distinction: la baliste et le pressoir sont des machines puissantes manœuvrées au moins par deux opérateurs; le scorpion est une machine moins puissante mais plus précise que la baliste, manœuvrée par un seul opérateur; pour *anisocyli* rien n'est assuré, ni la transmission manuscrite, ni l'interprétation, mais s'il s'agit bien d'un treuil à engrenages avec démultiplication, on a là une machine moins puissante que le treuil des presses mais d'une construction beaucoup plus sophistiquée et pouvant être manœuvrée par un seul homme. En fait ni Vitruve lui-même dans l'ensemble de son traité ni les autres auteurs latins ne font une distinction aussi claire dans l'emploi des deux mots. Il arrive à l'auteur latin d'appeler la baliste un *organum*²⁷ et de ranger le scorpion parmi les *machinae*.²⁸ Ce que l'on peut cependant observer à partir de l'ensemble des textes latins, c'est que, pour leurs emplois concrets, les deux mots se répartissent de façon générale selon les domaines d'activité: *machina* pour les machines de siège, les machines de levage et de traction, les moulins, les échafaudages; *organum* pour l'artillerie dans les textes spécialisés, les instruments de musique et de médecine; il y a bien sûr des interférences et au moins un domaine d'emploi dans lequel les deux mots sont employés indifféremment: celui des machines pour élever l'eau, mais nous pouvons dire que sous *machina* nous avons plutôt des machines de construction et de fonctionnement simple qui mettent en jeu beaucoup de puissance (machines de siège et machines de levage par exemple), sous *organum* des appareils plus sophistiqués dont le maniement exige du doigté (instruments de musique et de médecine par exemple).

D. Les types de machines

Vitruve classe les machines en trois types: "Il existe un premier type, de montée, qui est dit en grec *akrobatikon*; un deuxième pneumatique, qui est appelé chez

²⁶ Vitruve 10.1.3: "Inter machinas et organa id uidetur esse discrimen quod machinae pluribus operis ut ui maiore coguntur effectus habere, uti ballistae torculariorumque prela; organa autem unius operae prudenti tactu perficient quod est propositum, uti scorpionis seu anisocyclo-rum uersationes"; nous avons commenté cette distinction dans Philippe Fleury, *Machina et organum*, in: *Voces* 2 (1991), p. 27-38.

²⁷ Vitruve 10.11.1.

²⁸ *Ibid.* 10.3.9.

eux *pneumatikon*; un troisième, de traction: les Grecs le nomment *baroulkon*".²⁹ Le premier type correspond aux différentes sortes d'échafaudages: tours d'observation des militaires, échafaudages des maçons, gradins des théâtres ou des amphithéâtres en bois; le second type est limité par Vitruve aux instruments produisant un son (l'orgue hydraulique en particulier) alors que les Grecs englobent dans cette catégorie des machines comme la pompe à eau; le type tractoire représente la catégorie des machines de levage. Cette classification est malheureusement typique de la méthode vitruvienne. Nous disons "malheureusement" car elle fait partie des maladresses qui ont injustement discrédité l'ensemble de son œuvre. Elle est d'abord incohérente en elle-même puisqu'elle mêle critères fonctionnels (pneumatique) et critères d'utilisation (montée et traction). Elle est ensuite incohérente avec la définition donnée de la *machina* qui ne s'applique qu'au type tractoire. Il est manifeste qu'ici, comme au livre I pour les définitions de l'architecture, Vitruve a compilé plusieurs classifications provenant de manuels grecs (peut-être aussi d'ouvrages latins), d'époques et d'écoles différentes, sans se soucier de les accorder les uns avec les autres. L'écheveau des théories qu'il emprunte est difficile à démêler car la plus grande partie de la littérature dans laquelle il puise a aujourd'hui disparu: des mots comme *scansorius/akrobatikos* ("de montée") ne sont même connus que par lui. Enfin Vitruve ne se tient pas à cette classification pour construire le plan de la partie pratique de son traité.

II La mécanique pratique

A. La mécanique civile

1. Les machines de levage

a. La chèvre

Une "chèvre" est constituée par deux montants formant un triangle au sommet duquel se trouve un palan (à la différence de la "grue" constituée d'un montant et d'une flèche). Vitruve décrit deux types de chèvre: d'abord une chèvre à treuil équipée d'un palan simple à trois poulies;³⁰ manœuvrée par deux hommes, cette machine peut lever près d'une tonne en prenant pour hypothèse un treuil dont le rayon de l'axe est de 7,5 cm et dont les leviers mesurent 75 cm: si deux hommes appliquent en même temps chacun une force de 20 kg à l'extrémité de ces leviers, nous obtenons une puissance de sortie du treuil de 400 kg;³¹ cette puissance étant multipliée par trois par le palan, nous obtenons une force théorique de 1 200 kg qu'il faut réduire d'environ 25% pour tenir compte des frottements. Il décrit

²⁹ Ibid. 10.1.1: "Est autem unum genus scansorium, quod graece *akrobatikon* dicitur; alterum spirabile, quod apud eos *pneumatikon* appellatur; tertium tractorium, id autem Graeci *baroulkon* uocitant."

³⁰ Ibid. 10.2.1-2.

³¹ 75/7,5 x 2 x 20.

ensuite une chèvre à tambour et cabestan équipée d'un palan double à trois niveaux de poulies.³² Par rapport à la chèvre simple, cette machine présente trois dispositifs destinés à augmenter la puissance: le treuil est remplacé par un cabestan (on peut donc y appliquer un plus grand nombre d'hommes); un tambour multiplicateur est installé sur l'arbre de treuil; la corde de traction est doublée. La puissance théorique obtenue est considérable et la capacité de levage est en fait limitée ici par la résistance des cordes; manœuvrée par huit hommes, cette machine peut lever quatre ou cinq tonnes en prenant pour hypothèse un cabestan à quatre bras dont le rayon de l'axe est de 15 cm et le point d'application des forces sur les bras à 150 cm de l'axe: si les huit hommes appliquent en même temps chacun une force de 20 kg, nous obtenons une puissance de sortie du treuil de 1.600 kg;³³ si le tambour a un rayon d'un m et l'axe du treuil un rayon de 10 cm, cette puissance du cabestan est multipliée par 10 et nous avons donc en théorie 16 tonnes de traction possible à l'entrée du palan, mais, compte tenu du frottement et surtout de la résistance des cordes, il n'est guère envisageable de faire supporter plus de deux ou trois tonnes aux deux cordes qui partent de l'arbre de treuil; si nous prenons l'hypothèse basse de deux tonnes, cette puissance étant multipliée par trois par le palan, nous obtenons une force théorique de six tonnes qu'il faut réduire d'environ 25% pour tenir compte des frottements. En augmentant le nombre de cordes de traction et en utilisant un palan à cinq poulies comme le suggère Vitruve, cette puissance peut-être sensiblement accrue.

b. Le mât de chargement³⁴

Le mât de chargement est une simple poutre équipée d'un palan triple à six niveaux de poulies et manœuvrée par des files d'hommes, sans treuil ni cabestan. Sa puissance dépend du nombre d'hommes utilisés: elle peut être importante (environ trois tonnes si l'on applique dix hommes à chacune des trois cordes de traction), mais l'intérêt de la machine réside surtout dans la rapidité de la mise en œuvre.

La volonté didactique de Vitruve pour l'ensemble des machines de levage est claire: en trois configurations, il veut présenter le plus de solutions possibles: armatures à un ou deux montants; force motrice appliquée par un treuil, un cabestan ou des files d'hommes (Vitruve signale aussi la possibilité d'utiliser une roue d'écureuil); palan simple, double ou triple, ce qui permet de dépasser la charge de rupture d'une corde simple; palan à trois, cinq ou six poulies. Vitruve ne s'est pas intéressé à une capacité de charge maximale (il faut dire que la capacité de quatre à cinq tonnes que nous avons vue pour la chèvre à tambour est largement suffisante sur les chantiers courants), mais celle-ci est aisément calculable: la chèvre à tambour par exemple pourrait voir ses capacités augmentées jusqu'à plus de 25 tonnes. Plusieurs témoignages iconographiques confirment les descriptions de Vitruve.

³² Vitruve 10.2.5-7.

³³ 150/15 x 8 x 20.

³⁴ Vitruve 10.2.8-10.

Au cours de
que deux
ajouter to
s'écouler
les cas où
cales des
la roue à a

a. Le tym

Le tympan
ouverture
la restitu
une gran
nir: pour
manœuvi
à une ha
le font t
La sépar
Ce pour

b. La ro

La roue
certains
à la foi
compar
augets s
et d'aut
plus im
85 litre
mais n
incorpe
celui d
échelon

c. La c

La cha
d'élév
questi

35]

36]

37]

2. Les machines pour élever l'eau

Au cours de sa description des machines pour élever l'eau, Vitruve ne mentionne que deux utilisations: dans les jardins et dans les salines. Il faut bien entendu y ajouter tous les cas où il est nécessaire de "remonter" l'eau avant de la faire s'écouler vers les points de consommation: fontaines et thermes par exemple et les cas où, au contraire, il faut vider l'eau: fondations en milieu humide, mines, cales des navires par exemple. Vitruve décrit cinq types de machines: le tympan, la roue à augets, la chaîne à godets, la vis et la pompe à piston.

a. Le tympan³⁵

Le tympan se présente sous la forme d'un tambour creux compartimenté avec des ouvertures sur la tranche pour prendre l'eau et des ouvertures près du centre pour la restituer. Il n'élève donc l'eau que de la hauteur de son rayon, mais il en élève une grande quantité puisque tout l'intérieur du tambour est utilisé pour la contenir: pour un tympan d'un diamètre de 3 m avec une largeur intérieure de 20 cm, manœuvré par deux hommes, on peut estimer le débit à environ 800 litres/minute à une hauteur de 1 m. Il est mû par des hommes qui se tiennent à un portique et qui le font tourner avec les pieds grâce aux échelons placés tout autour de la tranche. La séparation en huit compartiments proposée par Vitruve n'est pas obligatoire. Ce pourrait être plus ou moins.

b. La roue à augets³⁶

La roue à augets est la traditionnelle noria utilisée encore aujourd'hui dans certains pays. A la différence du tympan, elle n'élève qu'une petite quantité d'eau à la fois puisque l'ensemble des augets a une moins grande capacité que les compartiments du tympan, mais elle l'élève beaucoup plus haut car d'une part les augets se vident au niveau de la circonférence (au lieu du centre dans le tympan) et d'autre part, l'ensemble étant plus léger, il peut être de dimensions beaucoup plus importantes: une roue de 4,65 m de diamètre avec 30 augets élève environ 85 litres/minute à une hauteur de 3,65 m. Vitruve signale des augets sur le côté, mais nous connaissons des variantes avec des augets placés sur la tranche ou incorporés dans la tranche elle-même. Le mode de propulsion est le même que celui du tympan mais, dans les rivières à courant important, on peut remplacer les échelons par des aubes et la roue devient alors automotrice.

c. La chaîne à godets³⁷

La chaîne à godets permet de s'affranchir du diamètre de la roue. La hauteur d'élévation n'est plus limitée que par la longueur de la chaîne et donc par une question de poids et de force motrice: une chaîne de 12 godets de 3,25 litres

³⁵ Ibid. 10.4.1-2.

³⁶ Ibid. 10.4.3.

³⁷ Ibid. 10.4.4.

(contenance donnée par Vitruve) manœuvrée par un seul ouvrier aura un débit d'environ 13 litres/minute à une hauteur de 16 m. Le système est particulièrement bien adapté aux puits ou aux cales des navires.

d. La vis d'Archimède³⁸

La vis d'Archimède est composée d'un ou plusieurs canaux (Vitruve en propose huit) s'enroulant en spirale autour d'un axe. Le tout est enfermé dans un long cylindre fait de planches soigneusement assemblées et liées par des cercles de fer (comme sur un tonneau). La construction de cet appareil est sophistiquée car il faut combiner l'inclinaison des spires et celle de l'appareil lui-même de telle sorte qu'à chaque tour un peu d'eau reste emprisonnée au bas de chaque spire et monte ainsi, tour après tour, jusqu'à l'orifice supérieur. La machine porte le nom de son inventeur présumé. Le mode de propulsion est le même que celui des appareils vus précédemment.

e. La pompe à pistons³⁹

Vitruve indique que cette machine doit être faite en bronze. Cela la distingue des machines précédentes qui étaient toutes en bois, mais l'on a aussi retrouvé des pompes à pistons en bois (en Italie, en Grande Bretagne et en France notamment). La description est ici manifestement issue des écrits de Ctésibios (Vitruve appelle du reste cette pompe la *machina Ctesibica*), mais le principe général est celui appliqué sur les pompes antiques retrouvées et celui en fait de toutes les pompes foulantes construites jusqu'à nos jours. La machine de Ctésibios se compose de deux pompes foulantes géminées plongées dans l'eau. Les pistons de chaque cylindre sont reliés au même levier et ils fonctionnent donc alternativement: quand l'un descend l'autre monte. Pendant la descente la soupape d'admission se ferme et l'eau est refoulée dans le réservoir intermédiaire d'où elle est expulsée vers le tuyau d'échappement. Pendant la montée la soupape d'échappement se ferme et l'eau est aspirée dans le cylindre. Le réservoir intermédiaire (absent dans la description d'Héron d'Alexandrie et sur certaines pompes retrouvées) permet un accès facile pour le nettoyage et le remplacement éventuel des soupapes d'échappement. Ce type de pompe est particulièrement intéressant pour la lutte contre les incendies car, avec une bouche de sortie adaptée, il permet d'envoyer un jet d'eau sous pression. C'est du reste pour cet usage que Pline le Jeune mentionne ce type de pompe sous le nom de *sipho*.⁴⁰

3. Le moulin à eau⁴¹

La description par Vitruve du moulin à eau vient "en excursus" à propos des roues à eau automotrices. Elle est brève mais intéressante à double titre: c'est la

³⁸ Ibid. 10.6.

³⁹ Ibid. 10.7.

⁴⁰ Pline, *Epistulae* 10.33.2.

⁴¹ Vitruve 10.5.2.

seule d
contem
d'eau f
roue d
même
siècles
jours l
config
naisso
grande

Vitruv
partir
l'app
deux
piston
régul
assist
l'air
origi
imme
des t
souff
tonn
l'ent
dans
tion
pres
qui
doul
d'au
peti
con
tuy
tou
d'a
la r

hyd
ens
cou

seule description technique ancienne de cette machine et elle doit être à peu près contemporaine de son apparition.⁴² Une roue à aubes actionnée par un cours d'eau fait tourner une roue dentée verticale par l'intermédiaire d'un axe. Cette roue dentée verticale fait tourner par engrenage une roue horizontale qui elle-même entraîne une meule mobile par l'intermédiaire d'un axe. Pendant vingt siècles il y eut beaucoup de variantes de moulins à eau, le principe restant toujours le même: actionner une meule avec une roue mue par un courant d'eau. La configuration décrite par Vitruve est une de ces variantes mais nous ne la connaissons attestée dans les moulins "modernes" qu'avec une roue verticale plus grande que la roue horizontale (la lanterne).

4. L'orgue hydraulique⁴³

Vitruve décrit l'orgue hydraulique comme la pompe à pistons, probablement à partir des écrits de Ctésibios, mais l'iconographie et l'archéologie confirment que l'appareil a bien été construit de cette manière. La soufflerie est constituée de deux pompes cylindriques dans lesquelles deux assistants font coulisser des pistons en agissant sur des leviers reliés aux pistons par des bielles. Une première régulation de la pression de l'air vient, évidemment, de l'action alternée des assistants et de la force avec laquelle ils pompent. Pour avoir un vent bien stable, l'air est ensuite envoyé dans un régulateur hydraulique: c'est là la principale originalité de cet orgue. Ce dispositif comporte une sorte d'entonnoir renversé immergé dans une cuve remplie d'eau. L'entonnoir repose au fond de la cuve sur des tasseaux si bien que l'eau peut circuler entre l'entonnoir et la cuve. Lorsque la soufflerie est inactive le niveau de l'eau est le même dans la cuve et dans l'entonnoir. Lorsque l'air est envoyé sous pression par les cylindres au sommet de l'entonnoir, l'eau est repoussée dans l'entonnoir et le niveau d'eau augmente dans la cuve: il se crée ainsi une réserve d'air sous pression. Pour une dénivellation constante entre le niveau de l'eau dans l'entonnoir et celui dans la cuve, la pression de l'air contenu dans l'entonnoir est rigoureusement stable. C'est cet air qui est acheminé vers le sommier; comme dans tous les orgues, sa fonction est double: d'une part la sélection du ou des jeux à faire parler (c'est la registration), d'autre part la liaison entre les tuyaux et le clavier. Au sommet de l'entonnoir un petit coffre fait fonction de porte-vent. A l'aide de robinets, il peut être mis en communication avec des canaux situés longitudinalement sous chaque rang de tuyaux. Un canal est assimilé à un registre. Pour faire parler les tuyaux, chaque touche du clavier actionne une règle mobile en position transversale, percée d'autant de trous qu'il y a de registres. Lorsque la touche est au repos, les trous de la règle correspondante sont décalés par rapport à l'embouchure des tuyaux et

⁴² Vitruve (10.5.2) et Strabon (12.3.30) sont les premiers auteurs à mentionner l'*hydraletal hydraletes*. Un poème d'Antipater de Thessalonique (*Anthologia Palatina* 9.418) nous apprend ensuite que dans la deuxième moitié du I^{er} siècle après J.-C. l'appareil était devenu d'usage courant.

⁴³ Vitruve 10.8.

l'air ne peut pas passer du canal du registre au tuyau. Lorsque la touche est enfoncée, les trous de la règle sont mis en correspondance avec les embouchures de tuyaux qui se trouvent au-dessus et, selon le nombre de registres ouverts, l'air alimente un ou plusieurs tuyaux en même temps. Le frottement qui accompagne le mouvement des règles devait rendre impossible la multiplication des registres au-delà de quatre.

5. Les instruments de mesure

La fabrication des instruments de mesure complexes était, à n'en pas douter, du ressort du *mecanicus*, mais Vitruve répartit leur description sur trois livres. Seul l'appareil à mesurer les distances, l'odomètre, est traité au livre X à l'intérieur de la *machinatio* proprement dite. L'appareil à mesurer les différences de niveau, le chorobates, est traité au livre VIII, avec l'adduction d'eau (chez Héron d'Alexandrie, appareils à mesurer les distances et appareils à mesurer les différences de niveau ou d'angle sont réunis dans un même traité: la *Dioptré*). Les systèmes de mesure du temps (cadran solaire et horloge à eau) sont traités au livre IX, à l'intérieur de la gnomonique.

a. L'odomètre

La notice sur l'odomètre paraît également avoir été écrite à partir de sources livresques. C'est celle qui a soulevé le plus de doutes, d'abord parce que nous n'avons aucun témoignage iconographique ni archéologique (mais cela est normal pour une machine construite en un tout petit nombre d'exemplaires), ensuite parce que le principe de la grande roue dentée à 400 dents décrit par Vitruve est curieux quand on sait que deux roues de 20 dents auraient eu la même fonction (mais, après tout, pour ce système purement utilitaire, l'encombrement d'une roue unique compensait peut-être largement les difficultés d'ajustage de deux petites roues). En tout cas l'appareil tel qu'il est décrit peut fonctionner et il convient parfaitement au comptage des milles sur une route, pour poser des bornes, pour indiquer la distance entre les relais ou les villes sur les cartes ... Une première petite roue, avec une seule dent, est adaptée sur le moyeu de la roue d'un chariot du côté intérieur. Au-dessus de cette première roue est adaptée une grande roue à 400 dents, plus une dent latérale dépassant les autres. Les 400 dents engrenent avec la dent de la roue inférieure. Enfin une troisième roue est placée en haut, perpendiculairement à la grande roue. Elle engrène avec la dent latérale de cette dernière. Le nombre de dents de cette troisième roue est indifférent: Vitruve conseille de faire un nombre de trous (donc un nombre de dents) équivalent à celui des milles qu'un chariot peut parcourir en une journée. L'ingénieur romain propose un système à mesures fixes en imposant aux roues du chariot une circonférence précise de 12,5 pieds, soit un diamètre de 4 pieds. Quand la roue du chariot qui porte la petite roue à une dent a tourné 400 fois, elle a fait faire à la grande roue à 400 dents un tour complet et celle-ci, avec sa dent latérale, a fait avancer d'une dent la roue horizontale; 400 fois 12,5 pieds font 5 000 pieds, soit

exacteme
correspo
parcouru
seul trou.
est placé
le trou q
dans un
qu'un mi
cailloux

b. Le ch

Le chor
l'hydrau
mais son
6 m) ass

c. Le ca

Les diff
sous l'a
du De
sûreme
seule en
architec
privée.
Vitruve
l'établi
manqu
l'épuré
il ne v
ensuite
l'horlo
qui s'a
l'horlo
ran à t

44
45
(CUF,
46
47
48
49

exactement 1 mille. Donc l'avancement d'une seule dent de la roue horizontale correspond à la distance parcourue d'un mille. Pour totaliser le nombre de milles parcourus, se trouve, sous la roue horizontale, un plateau ne portant, lui, qu'un seul trou, correspondant précisément à un des trous de la roue. Dans chaque trou est placé un petit caillou; à chaque déplacement d'une dent de la roue horizontale, le trou qui correspond à l'ouverture du plateau perd son caillou. Celui-ci tombe dans un petit vase en bronze. Le bruit du caillou qui tombe avertit l'opérateur qu'un mille a été parcouru et, en fin de parcours, il suffit de compter le nombre de cailloux dans le vase pour connaître le nombre de milles parcourus.

b. Le chorobates

Le chorobates est décrit par Vitruve au livre VIII⁴⁴ dans la partie consacrée à l'hydraulique. Sa restitution n'est pas sans poser quelques difficultés de détail, mais son principe général est clair: il s'agit d'un grand niveau (long de près de 6 m) associant fils à plomb et niveau d'eau.

c. Le cadran solaire et l'horloge à eau

Les différents types de cadrans solaires et d'horloges à eau sont regroupés en latin sous l'appellation générique d'*horologia*. L'exposé qui les concerne au livre IX du *De architectura* n'est pas le meilleur de Vitruve. La tradition manuscrite a sûrement beaucoup altéré l'original à cet endroit, mais elle n'est peut-être pas seule en cause: la gnomonique ne devait pas être le "domaine de pointe" de notre architecte. Du reste, lorsque Cétius Faventinus, écrira son *Abrégé d'architecture privée* au III^e siècle p.C. c'est le seul passage pour lequel il ne suivra pas du tout Vitruve ... Heureusement l'excellente édition de Soubiran⁴⁵ fait au mieux pour l'établissement du texte et grâce à son commentaire elle permet de suppléer aux manques et aux incohérences de ces chapitres. Vitruve décrit successivement l'épure de l'analemme⁴⁶ (préalable à la construction de tout cadran solaire, mais il ne va pas plus loin dans la réalisation pratique, se contentant d'énumérer ensuite les différents types de cadrans solaires), l'horloge à eau de Ctésibios,⁴⁷ l'horloge anaphorique,⁴⁸ un système de régulation du débit d'eau par tambour⁴⁹ qui s'appliquerait à un type d'horloge non décrit à moins qu'il n'ait été détaché de l'horloge de Ctésibios par un déplacement accidentel comme le suggère J. Soubiran à titre d'hypothèse.

⁴⁴ Ibid. 8.5.1-3.

⁴⁵ Vitruve, *De l'architecture. Livre IX*. Texte établi, traduit et commenté par J. Soubiran (CUF, Paris: Les Belles Lettres 1969).

⁴⁶ Vitruve 9.7.2-7.

⁴⁷ Ibid. 9.8.4-7.

⁴⁸ Ibid. 9.8.8-10.

⁴⁹ Ibid. 9.8.11-14.

B. La mécanique militaire

1. Les machines de jet⁵⁰

Les deux types de machines décrits par Vitruve, la catapulte et la baliste, sont des pièces d'artillerie "à torsion et à deux bras". Le principe moteur est constitué par deux faisceaux de câbles, à l'intérieur desquels sont enfilés deux bras en bois, reliés à leur extrémité par une corde archère. Entre ces deux faisceaux passe le fût de la machine, constitué d'une longue pièce fixe, à l'intérieur de laquelle coulisse un tiroir. Ce tiroir porte une griffe à laquelle est accrochée la corde archère avant le tir. Le tiroir est amené vers l'arrière au moyen d'un treuil et entraîne donc avec lui la corde archère, qui elle-même tire les bras et tord les faisceaux de câbles. Lorsque le point de tension désiré est atteint, la griffe est soulevée au moyen d'un petit levier, elle libère la corde archère, qui revient violemment à sa position première, entraînant vers l'avant le projectile qui avait été au préalable posé sur le tiroir. L'ensemble moteur et fût est disposé sur une base.

La catapulte (ou scorpion) de Vitruve est un lanceur de flèches, la baliste un lanceur de pierres. Mais cette distinction est superficielle relativement aux différences fondamentales qui concernent la construction du cadre de tension, à l'intérieur duquel sont enfermés les faisceaux de câbles, et la construction du fût. La baliste comporte deux cadres (avec un ressort chacun) au lieu d'un seul dans la catapulte; ceux-ci ne sont pas alignés mais disposés légèrement en V (la pointe vers l'arrière) de manière à obtenir une plus forte tension et ils sont séparés par un intervalle plus important qui peut laisser passer des boulets d'une taille énorme : les tables de calibrage données par Vitruve vont de deux livres, environ 650 grammes (intervalle de 5 doigts, environ 9 cm), à plus de 100 kg.

Ce type d'artillerie est le seul attesté entre le IV^e siècle a.C. et le II^e siècle p.C. : c'est celui auquel font référence César, Tite-Live ou Tacite, c'est encore celui qui est attesté sur la colonne Trajane avec quelques modifications puisqu'à cette époque le métal remplace le bois sur certaines machines. Le lanceur de pierres à un seul bras, appelé onagre ou scorpion, souvent représenté à tort pour illustrer les textes de César par exemple, est plus tardif.

2. Les machines de siège⁵¹

Vitruve ne décrit pas toutes les machines utilisées à son époque pour attaquer des remparts et il le reconnaît lui-même. Il s'en tient à quelques exemples, choisis parmi les machines les plus complexes, et laisse de côté les systèmes simples: échelles, mantelets, claies, baraques ou portiques de protection ... Nous pouvons en fait distinguer quatre groupes de machines d'attaque pour les sièges au I^{er} siècle a.C. : les machines de protection, les machines de destruction, les machines

⁵⁰ Ibid. 10.10-12.

⁵¹ Ibid. 10.13-15.

d'escalade, le
vent les diffé-
Commentaire.
aux cas difficil
te (devant Ma
taient de simp
tortues: le ma
La deuxième
poutre portée
à l'intérieur
démolir la m
Dans la troisi
souvent cité:
bascules pour
billes (*turris*
rieur de la pl
saut grâce à c

La tortue
développeme
engin les qua
tection des a
dominante pa
par un toit so
combles perr
res. Enfin un
dessus et ell

Voilà do
nous, lecteur
réalisations r
pour qui Vitru
situait-il? A-
questions au

Les destinat
l'ensemble
Caesar,⁵⁴ c'

⁵² Vitruve

⁵³ Trois a

Byzance (230.

⁵⁴ Vitruve

⁵⁵ *Aedific*

d'escalade, les tours de tir et d'observation. Dans la première catégorie se trouvent les différentes tortues décrites par Vitruve. Mais il apparaît à la lecture des *Commentaires* de César que leur construction était relativement rare et réservée aux cas difficiles, notamment lorsque l'ennemi disposait d'une artillerie puissante (devant Marseille en 49 a.C. par exemple). D'ordinaire les soldats se contentaient de simples claies (*crates*) ou de baraques de protection plus simples que les tortues: le mantelet (*uinea*), le portique (*porticus*), la galerie mobile (*musculus*). La deuxième catégorie comprend le bélier (*aries*) avec tous ses types: la simple poutre portée à bras d'hommes, la poutre suspendue à un mât et la poutre installée à l'intérieur d'une tortue, le trépan (*terebra*) et divers instruments destinés à démolir la muraille par le haut (essentiellement pour faire tomber les merlons). Dans la troisième catégorie se range d'abord l'instrument le plus simple et le plus souvent cité: l'échelle (*scalae*). Divers autres systèmes de ponts volants ou de bascules pouvaient être employés. La quatrième catégorie est celle des tours mobiles (*turris mobilis, ambulatoria*) utilisées pour lancer des projectiles à l'intérieur de la place assiégée, pour observer et éventuellement pour permettre l'assaut grâce à des ponts volants installés à la hauteur du mur.

La tortue d'Hégétor de Byzance à laquelle Vitruve consacre un assez long développement⁵² est bien connue⁵³ et datée: III^e siècle a.C. Elle réunit en un seul engin les quatre fonctions des machines de siège que nous venons de voir: la protection des assiégeants, la destruction des remparts, leur escalade, la position dominante par rapport aux assiégés. La plate-forme montée sur roues et protégée par un toit solide permet d'abriter un grand nombre de soldats. Un étage sous les combles permet d'installer des pièces d'artillerie qui tirent à travers des meurtrières. Enfin une immense poutre bélière manœuvrée de l'intérieur est installée au-dessus et elle est conçue de façon à pouvoir servir aussi d'échelle d'escalade.

Voilà donc le contenu mécanique de l'œuvre de Vitruve qui nous permet de nous, lecteurs modernes, de nous faire une idée assez précise des théories et des réalisations mécaniques de la fin de la République et du début de l'empire. Mais pour qui Vitruve écrivait-il? Quelles étaient ses sources et dans quelle tradition se situait-il? A-t-il exercé une influence? Eut-il des continuateurs? Voici quelques questions auxquelles nous allons essayer de répondre pour clore ce chapitre.

Les perspectives, les sources et la postérité de l'œuvre de Vitruve

Les destinataires de l'œuvre mécanique de Vitruve sont les mêmes que ceux de l'ensemble du *De architectura* et ils sont désignés expressément: l'*imperator Caesar*,⁵⁴ c'est-à-dire selon toute probabilité Octave, ceux qui construisent⁵⁵ et

⁵² Vitruve 10.15.2-7.

⁵³ Trois auteurs la décrivent: Vitruve, Athénée le Mécanicien (21-26) et l'Anonyme de Byzance (230.1-232.12).

⁵⁴ Vitruve 1 praef. 1.

⁵⁵ *Aedificantes*: Ibid. 1.1.18.

les "savants".⁵⁶ Vitruve y ajoute, au début du livre sur la mécanique, les préteurs et les édiles chargés de l'organisation des jeux.⁵⁷ En fait Vitruve poursuit deux buts. L'un est de transmettre une connaissance scientifique, l'autre est d'être utile immédiatement. Transmettre la connaissance est la grande gloire des écrivains. A ce titre on devrait leur accorder autant d'honneurs qu'aux athlètes et voire plus, souligne-t-il dans la préface du livre IX. Voilà pourquoi il s'adresse aux savants, aux "honnêtes" gens pour leur livrer le savoir qu'il a lui-même acquis à la lecture des livres; et il le fait sous une forme encyclopédique: de même qu'il a traité tous les aspects de l'urbanisme, de la construction, de la décoration, de l'hydrologie et de l'hydraulique, de l'astronomie et de la gnomonique, il veut traiter au livre X tous les aspects de la mécanique. Plutôt que "tous les aspects", il vaudrait mieux dire "les plus importants", car il a bien conscience que pour vraiment tout traiter il aurait fallu une œuvre d'une tout autre ampleur. Or il a le souci d'être bref pour être directement utile. Quand il s'adresse à l'*imperator Caesar* il sait que le Chef de l'Etat a bien d'autres occupations; il en est de même quand il s'adresse à ceux qui construisent: commanditaires publics ou privés, magistrats ou pères de famille, aux prêteurs et aux édiles qui ont la charge d'organiser des jeux. Il veut leur donner à tous des informations immédiatement utilisables pour les travaux qu'ils commandent. L'information sur les machines de guerre est directement utile au chef de l'état et aux officiers chargés de les faire construire ou de les utiliser. Ce n'est certes pas à partir du livre de Vitruve que les ouvriers vont construire une catapulte ou une baliste, mais le *De architectura* permet à ceux qui ont commandé les travaux de les suivre et de comprendre le travail des ouvriers. Il en est de même pour la construction des machines de levage nécessaires sur les chantiers publics ou dans les grandes maisons particulières, pour les systèmes d'élévation de l'eau utilisés dans les thermes, dans les grands domaines agricoles ou l'"industrie" des salines; à ce domaine industriel appartient aussi le moulin à eau qui commence à concurrencer le moulin pompéien (moulin manœuvré par des bêtes de somme ou des hommes) à partir du I^{er} siècle a.C.; la pompe de Ctésibios est le *siphon* utilisé dans les corps de vigiles pour la lutte contre les incendies; même l'orgue hydraulique et l'odomètre ne sont peut-être pas là au titre de la simple connaissance encyclopédique: le premier fait partie des "objets" nécessaires pour l'organisation des jeux, au même titre que les tribunes provisoires; il accompagne (avec d'autres instruments tels que le cor ou la trompette) les combats de gladiateurs; le deuxième fut probablement utilisé par les services administratifs chargés de placer les relais de poste à intervalles réguliers, de poser les bornes militaires, d'établir les cartes avec les indications de distance ... Et quand bien même ces descriptions ne poursuivraient qu'un but de culture scientifique et technique, Vitruve place cette culture sous le signe de l'*utilitas*: c'est le mot qu'il emploie à plusieurs reprises dans la préface du livre IX, à laquelle nous avons déjà fait allusion, pour dire que les écrivains méritent plus d'honneurs que les athlètes "car les athlètes, avec leurs exercices, ne fortifient que leur propre corps, tandis que les écrivains, outre leur intelligence, fortifient aussi celle de tous les

⁵⁶ *Sapientes*: Ibid. 1.1.18.

⁵⁷ Ibid. 10 praef. 4.

hommes
autres et
puisé au
reprises:
pour la p
siège,⁶⁰
nieur qu
l'invent
taines r
transpo
Hégéto.
ble que
Vitruvé
auteurs
chytas,
moclès
œuvre
dans le
autre s
aux pa
rappro
auteur
comm
tores
rains
nant c
vons
il se
IV^e s
Arist
dont
deux

5
5
form
Ctési

Méc
d'Ep
nès.
Fuffi
leur

hommes, lorsque, dans leurs ouvrages, ils ménagent des leçons pour instruire les autres et pour aiguïser les esprits".⁵⁸ Vitruve revendique pour lui-même d'avoir puisé aux sources littéraires; dans la partie mécanique il ne les nomme qu'à trois reprises: Ctésibios, le mécanicien d'Alexandrie, pour l'horloge hydraulique puis pour la pompe à eau⁵⁹ et Diadès, un ingénieur d'Alexandre, pour des machines de siège,⁶⁰ mais nous savons par Athénée le Mécanicien qu'Agésistratos, un ingénieur qui a travaillé pour Rhodes au I^{er} siècle a.C., est la source du passage sur l'invention du bélier.⁶¹ D'autre part quand il donne le nom des auteurs de certaines réalisations mécaniques: les architectes Chersiphron et Métagénès pour les transports de blocs de pierre au temple de Diane à Ephèse au IV^e siècle a.C., Hégétor de Byzance, un ingénieur de Démétrios Poliorcète, il n'est pas impossible que ceux-ci aient écrit eux-mêmes des *commentarii* sur leur travail et que Vitruve les ait utilisés.⁶² Dans la préface du livre VII il cite également quelques auteurs grecs sur la mécanique (aucun auteur latin, semble-t-il⁶³): Diadès, Archytas, Archimède, Ctésibios, Nymphodoros, Philon de Byzance, Diphilos, Démoclès, Charias, Polyidos, Pyrrhus et Agésistratos,⁶⁴ mais à aucun endroit de son œuvre mécanique nous ne pouvons déceler une source directe. Les seuls passages dans lesquels nous pouvons mettre le texte de Vitruve en rapport avec celui d'un autre sont les chapitres XIII à XV du livre X *De architectura* qui correspondent aux pages 9 à 26 (Wescher) du *Traité des machines* d'Athénée le Mécanicien. Le rapprochement est évident, sur le fond et sur la forme; pourtant aucun des deux auteurs ne semble avoir été la source de l'autre: ils ont probablement des sources communes (dont Agésistratos) et ils ont pu avoir les mêmes maîtres (les *praeceptores* dont parle Vitruve à plusieurs reprises) puisqu'ils sont à peu près contemporains (le Marcellus auquel Athénée dédie son œuvre est probablement le lieutenant de Pompée, M. Claudius Marcellus, mort en 45 a.C.). Si donc nous ne pouvons identifier aucune source de Vitruve, nous voyons bien dans quelle tradition il se situe pour la partie mécanique: celle des mécaniciens anciens, de Diadès au IV^e siècle a.C. à Apollodore de Damas au II^e siècle p.C. en passant par le Pseudo-Aristote, Biton, Philon de Byzance, Héron d'Alexandrie pour ne citer que ceux dont on a conservé les œuvres. Mais il présente au moins deux originalités, sur deux plans différents. D'abord il est le seul auteur mécanicien de la langue latine

⁵⁸ Ibid. 9 praef. 1.

⁵⁹ Ibid. 9.8.2 et 10.7.1; à vrai dire, si Ctésibios est bien nommé dans ces deux passages (sous forme d'adjectif dans le deuxième), il n'est pas totalement assuré que Vitruve ait lu directement Ctésibios: il peut en avoir une connaissance de seconde main.

⁶⁰ Ibid. 10.13.3.

⁶¹ Ibid. 10.13.1-2.

⁶² Athénée le Mécanicien (28.8) parle d'un Callistratos qui aurait écrit un livre sur *La Mécanique* (*hyper tòn mêchanikôn*) et qui se serait occupé du transport des pierres pour le temple d'Ephèse; c'est peut-être chez lui que Vitruve a trouvé les anecdotes de Chersiphron et Métagénès.

⁶³ Si Vitruve, après les auteurs grecs sur les machines, cite bien trois prédécesseurs latins: Fuficius, Publius Septimius, Terentius Varron, nous ne connaissons pas le contenu mécanique de leur œuvre et nous ne savons même pas s'il y en eut un.

⁶⁴ Vitruve 7 praef. 14.

dont nous avons conservé le texte, dont nous avons même conservé le nom,⁶⁵ cela ne signifie pas qu'il fut le seul à écrire en latin sur ce sujet car toute une série d'indices nous montre qu'il y eut un domaine d'activité mécanique romain, au niveau professionnel comme au niveau de l'enseignement, et il serait étonnant que tous les *commentarii* destinés à transmettre ce savoir aient été écrits en grec; ce dut être cependant le cas le plus fréquent et cela explique que nous n'ayons qu'un seul "survivant" de langue latine. La seconde originalité est plus importante: si on le confronte cette fois à l'ensemble de la littérature mécanique grecque conservée ou connue, il est le seul à avoir fait une encyclopédie de la mécanique en un seul volume. Ses prédécesseurs ou ses successeurs ont consacré des monographies aux *Problèmes de mécanique* (Pseudo-Aristote), aux *Machines de guerre* (Biton, Philon, Héron, Athénée, Apollodore), à ce qu'on appelait la *Pneumatique* (Héron, Philon ...); aucun n'avait rassemblé tous ces thèmes en un seul volume. Philon de Byzance avait certes écrit une *Syntaxe Mécanique* mais chaque sujet était traité dans un volume particulier. De plus, si nous comparons les deux œuvres, nous voyons que le livre X de Vitruve n'est pas un simple condensé de l'œuvre de Philon: il y a aussi chez Vitruve une originalité de la répartition des matières, à la fois dans le livre X et à l'intérieur de l'ensemble du *De architectura*. Cette entreprise paraît être restée unique et sans grande influence. Vitruve lui-même est peu cité dans l'Antiquité et, quand il l'est, c'est en tant qu'architecte au sens moderne du mot. Il faudra attendre Léonard de Vinci pour voir quelqu'un s'intéresser au livre X,⁶⁶ mais alors c'est l'ensemble de la Renaissance qui va renouveler la science des machines et ce n'est pas un hasard si un siècle plus tard Galilée reprendra la tradition avec un ouvrage "delle Mekaniche".

Littérature

Editions

- Vitruve, *De l'architecture, Livre I*. Texte établi, traduit et commenté par Philippe Fleury (CUF, Paris: Les Belles Lettres 1990)
 Vitruve, *De l'architecture, Livre X*. Texte établi, traduit et commenté par L. Callebaut, avec la collaboration pour le commentaire de Philippe Fleury (CUF, Paris: Les Belles Lettres 1986)
 Vitruv. *Zehn Bücher über Architektur*, übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Curt Fensterbusch (Darmstadt 1981)

Littérature

- Adam, J.P., *La construction romaine. Matériaux et techniques* (Paris: Picard 1984)
 Baatz, D., *Bauten und Katapulte des römischen Heeres* (Stuttgart: Steiner 1994)
 Coulton, J.J., *Lifting in early Greek Architecture*, in: *Journal of Hellenic Studies* 94 (1974), p. 1-19

⁶⁵ Nous connaissons, ne serait-ce que par l'épigraphie, d'autres noms d'ingénieurs romains, mais nous ignorons s'ils ont eu une production littéraire en langue latine.

⁶⁶ On a trouvé dans ses carnets des mots, notamment le nom d'Arados, qui ne peuvent venir que de Vitruve.

- Donderer, M., *Die Architekten der späten römischen Republik und der Kaiserzeit. Epigraphische Zeugnisse* (Erlangen: Universitätsbibliothek Erlangen-Nürnberg 1996)
- Drachmann, A.G., *The Mechanical Technology of Greek and Roman Antiquity. A Study of the literary Sources* (Copenhagen: Munksgaard 1963)
- Fleury, Ph., *Dénomination générique, dénominations particulières. L'exemple des machines de levage en latin*, in: *Voces* 8-9 (1997-1998), p. 171-189
- Fleury, Ph., *Machina et organum*, in: *Voces* 2 (1991), p. 27-38
- Fleury, Ph., *La mécanique de Vitruve* (Caen: Presses Universitaires de Caen 1993)
- Fleury, Ph., *Traité de mécanique et textes sur les machines*, in: *Les littératures techniques dans l'Antiquité romaine* (Entretiens sur l'Antiquité Classique 42, Vandoeuvres-Genève: Fondation Hardt, 1996), p. 45-75
- Gros, P., *Vitruve: l'architecture et sa théorie, à la lumière des études récentes*, in: *Aufstieg und Niedergang der Römischen Welt* 2.30.1 (Berlin, New York: Walter de Gruyter 1982), p. 659-695
- Krafft, *Dynamische und statische Betrachtungsweise in der antiken Mechanik* (Boethius 10, Wiesbaden: Steiner 1970)
- Lauter, H., *Die Architektur des Hellenismus* (Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1986)
- Lendle, O., *Antike Belagerungsmaschinen* (Stuttgart: Klett 1982)
- Lendle, O., *Texte und Untersuchungen zum technischen Bereich der antiken Poliorketik* (Palinogenesia 19, Wiesbaden: Steiner 1983)
- Lendle, O., *Vitruvs Meilenzähler*, in: *Pratum Saraviense. Festgabe für P. Steinmetz* (Stuttgart: Steiner 1990), p. 75-88
- Marsden, E.W., *Greek and Roman Artillery. Technical Treatises* (Oxford: Clarendon Press 1971)
- Moritz, L.A., *Grain-mills and Flour in Classical Antiquity* (Oxford: Clarendon Press 1958)
- Oleson, J.P., *Greek and Roman Water-Lifting Devices: The History of a Technology* (Phoenix sup. 16, Toronto: University of Toronto Press 1984)
- Perrot, J., *L'orgue de ses origines hellénistiques à la fin du XIIIe siècle* (Paris: Picard 1965)
- Schürmann, A., *Griechische Mechanik und antike Gesellschaft. Studien zur stattlichen Förderung einer technischen Wissenschaft* (Boethius 27, Stuttgart: Steiner 1991)
- Schürmann, A., *Antike Pneumatik – eine für das Leben nützliche Wissenschaft?*, in: Döring, K. und Georg Wöhrle (Hg.), *Antike Naturwissenschaft und ihre Rezeption* I und II (Bamberg: Collibri 1992), p. 86-114
- White, K.D., *Greek and Roman Technology* (Londres: Thames and Hudson 1984)