Existe-t-il des machines préhistoriques ?

Do Pre-historical Machines Exist?

Michel Pernot

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/ephaistos/1355>

DOI : 10.4000/ephaistos.1355

ISSN : 2552-0741

Éditeur

IHMC - Institut d'histoire moderne et contemporaine (UMR 8066)

Édition imprimée

Date de publication : 1 juin 2013

Pagination : 49-57

ISSN : 2262-7340

Référence électronique

Michel Pernot, « Existe-t-il des machines préhistoriques ? », *e-Phaïstos* [En ligne], II-1 | 2013, mis en ligne le 15 décembre 2018, consulté le 18 juin 2020. URL : <http://journals.openedition.org/ephaistos/1355> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ephaistos.1355>

Existe-t-il des machines préhistoriques ?

Michel Pernot
CNRS, IRAMAT, UMR 5060
Maison de l'archéologie
Université Bordeaux 3

Avant tout, il est nécessaire de préciser quelques points de vocabulaire au sujet du mot « machine », mais aussi des mots « dispositif », « appareil » et « mécanisme ». À partir d'une recherche dans divers dictionnaires et dans le *Trésor de la langue française*, nous considérerons qu'une *machine* est un objet fabriqué, complexe, capable de transformer une forme d'énergie en une autre et/ou d'utiliser cette transformation pour produire un effet donné, pour agir directement sur l'objet de travail afin de le modifier selon un but fixé. Un « dispositif » désigne la manière dont sont disposées, en vue d'un but précis, les pièces d'un « appareil », les parties d'une « machine » ; c'est aussi un ensemble d'éléments agencés, toujours en vue d'un but précis. Un « appareil » est également un ensemble d'éléments, constituant un tout et concourant à un même but. Un « mécanisme » est la combinaison de pièces, d'organes agencés en vue d'un mouvement, d'un fonctionnement d'ensemble ; c'est aussi ce fonctionnement lui-même.

Nous ne nous inscrivons pas dans les considérations, beaucoup plus larges, proposées par Jacques Lafitte dans son petit ouvrage intitulé *Réflexions sur la science des machines*, publié en 1932 et réédité en 1972. Ce travail, qualifié de « mécanologique », distingue les machines passives, des machines actives et des machines réflexes¹. Cette classification, fort intéressante, n'est pas pertinente par rapport à la question que nous formulons. En effet, une machine réflexe comporte des dispositifs de

perception d'informations (capteurs mesurant une vitesse, une température, une pression...) qui modifient son comportement, par exemple un régulateur de vitesse ; ce type n'existe que dans les mondes moderne et contemporain. À l'autre extrémité du classement, les machines passives incluent les dispositifs architecturaux ; un simple piquet fiché dans le sol rentre dans cette catégorie. De même, nous ne considérons pas qu'un outil emmanché est une machine active ; le fait d'associer une pièce active à une pièce de préhension ne nous semble pas suffisant pour entrer dans le concept de machine.

La question que nous souhaitons examiner est : quand commence la machine ? Ceci jugé d'abord en termes de complexité avant de s'intéresser à la position chronologique. Nous resterons donc à la définition d'une machine comme un ensemble de pièces qui constituent un tout et concourent à un but d'ensemble. Ce but est atteint par une action dynamique qui met en jeu un travail mécanique ; ainsi, il ne s'agit pas d'exploiter l'énergie électrique ou électromagnétique, comme c'est le cas pour un appareil téléphonique, ni chimique, telle que l'utilise une pile ou une batterie. La réalité contemporaine est naturellement plus complexe imbriquant les différents types d'énergie. Par exemple, un moteur à combustion interne, le moteur à explosion tel que nous le connaissons depuis plus d'un siècle, comporte de nombreuses pièces mécaniques, dont des pistons, des bielles, un arbre à cames, un vilebrequin, associées pour assurer la rotation d'un arbre ;

dans nombre de cas, il utilise aussi l'électricité pour produire l'étincelle qui déclenche la réaction chimique de combustion, qui produit les gaz qui poussent le piston. Une machine peut alors être vue comme un assemblage de concepts mis en œuvre au travers de dispositifs.

Concepts, actions et dispositifs

Les actions mécaniques principales s'inscrivent dans la dualité de la rotation et de la translation. Dans une machine, la course en translation est nécessairement limitée ; ainsi, il s'agit toujours d'un mouvement de va-et-vient ; il n'en est pas de même pour la rotation. L'assemblage d'une translation alternative avec une rotation peut conduire à une rotation alternative, c'est le cas d'un perçoir à archet², ou bien continue si un dispositif excentrique, tel un vilebrequin, y est associé. Certains assemblages exploitent également le levier pour amplifier la translation, la pédale d'un tour à perche³ par exemple. De l'énergie mécanique peut être stockée, sous forme élastique, par divers ressorts⁴, ou bien, sous forme potentielle, par l'élévation de poids, comme dans certaines horloges.

Une machine tournante comporte au moins un axe. Celui-ci peut être fixe, tel un essieu stabilisant la rotation d'une ou plusieurs roues, d'une ou plusieurs poulies folles. Dans le cas des perçoirs, des tours, des treuils, etc., l'arbre tourne ; il en est de même lorsqu'il entraîne un engrenage ou bien comporte des cames. À partir d'un axe, au-delà de cames de formes très variées, le concept d'excentrique se décline dans une roue munie d'un autre axe excentré, mais aussi par une manivelle ou un vilebrequin. Ces divers dispositifs peuvent être associés à une ou plusieurs bielles afin de générer par rotation un mouvement de translation, ou inversement une rotation à partir d'une translation ; l'axe de rotation est cependant toujours perpendiculaire à la direction de la translation. La vis est un autre dispositif qui associe également rotation et translation ; la translation est alors parallèle à l'axe

de rotation.

La rotation : du dispositif à la machine

Une baguette, placée entre les deux paumes d'un individu, et mise en rotation alternative par l'acte de se frotter les mains, est certainement le dispositif le plus simple⁵ ; le but peut être de percer ou bien de transformer l'énergie mécanique du frottement en chaleur pour localement augmenter la température jusqu'à atteindre l'incandescence. Le dispositif comporte quasiment toujours deux pièces ; elles sont généralement en deux bois différents pour l'allume feu. La pièce active d'un perçoir peut être l'axe en bois, si des grains abrasifs (grains de quartz d'un sable, grains d'hématite obtenus par broyage, etc.) sont ajoutés au niveau du contact entre l'outil⁶ et la matière travaillée. L'autre possibilité consiste à assujettir à l'axe une pièce réalisée dans un matériau qui enlève des grains ou des copeaux de la matière travaillée ; du silex ou un alliage métallique durci par écrouissage, c'est-à-dire par déformation plastique, sont alors utilisables. Par rapport au cadrage de la définition que nous proposons, il est clair que ce dispositif, utilisé dans l'Ancien Monde au moins depuis le courant du paléolithique supérieur, c'est-à-dire il y a quelques dizaines de milliers d'années, n'est pas une machine.

L'emploi de roues tournant sur un ou deux essieux fixes permet la construction de chars, de chariots, de charrettes ou encore de brouettes, à une, deux, trois ou quatre roues. Un ouvrage récent fait le bilan des traces matérielles les plus anciennes qui nous en sont parvenues⁷ ; des essieux et des roues en bois, conservés dans des conditions particulières, datent de six à quatre mille ans avant aujourd'hui. Au-delà de l'aspect fonctionnel du transport de matières pondéreuses, il est clair que, depuis au moins trois mille ans, le char, sous les déclinaisons du char de guerre à deux roues et du char processionnel à quatre roues, est d'une grande importance sociale⁸. Une large majorité de nos contemporains n'est peut-être pas consciente des racines multimil-

lénaires de l'exhibition de richesse au moyen de véhicules divers qui, par ailleurs, sont parfaitement fonctionnels. Rien ne s'oppose à ce que ces véhicules, qui ont roulé en général tractés par de grands herbivores, soient désignés par le mot « machine ».

En Europe occidentale, il y a trois mille ans environ, des hommes ont aussi fait usage de dispositifs tournants pour mettre en forme, par une sorte « d'usinage », divers matériaux tendres tels du bois animal⁹, du bois végétal, de la cire. Le travail de la cire a été utilisé pour réaliser des modèles qui sont ensuite exploités au moyen du procédé de fonderie dit « à la cire perdue ». L'alliage précieux ou cuivreux qui a remplacé le modèle en cire dans l'empreinte du moule en terre cuite a pu conserver des traces du tournage¹⁰. Du dispositif lui-même, très certainement entièrement en bois, il est vain d'espérer trouver un quelconque vestige, principalement en raison du caractère périssable de ce matériau. Les restitutions proposées emploient en général un mécanisme à archet¹¹. L'avantage principal du dispositif est de pouvoir être manipulé par un seul individu dont une main impose un va-et-vient à l'archet alors que l'autre tient une crapaudine¹² dans le cas d'un perçoir ou bien l'outil d'usinage dans le cas d'un tour ; éventuellement, les pieds ou les jambes servent à bloquer ce qui doit l'être. L'existence de ce mécanisme est connue par des représentations graphiques conservées en Egypte et datées des III^e et II^e millénaire a.C.¹³ ; en Europe occidentale, faute de témoignage de ce type, les propositions de restitution resteront hypothétiques pour ces mêmes périodes¹⁴. Il est important de souligner que des traces de travail avec un dispositif tournant, qu'elles soient directes, sur la pièce travaillée, ou indirectes, après fusion du modèle en cire, n'indiquent pas si le tournage est continu ou alternatif. Dans ce dernier cas, l'outil agit dans l'un des sens de rotation, où il mord le matériau travaillé, et pas dans l'autre, où il ne laisse évidemment aucune trace. L'ensemble du montage, avec un axe rotatif monté sur des paliers, et/ou des pointes, pour le contraindre en translation, avec éventuelle-

ment un mandrin pour solidariser la pièce travaillée et l'axe, avec un dispositif de guidage de l'outil actif, avec un mécanisme, éventuellement à archet, assurant la mise en rotation, est d'une complexité qui justifie le terme de « machine ».

Le machinisme antique

Le monde romain de la fin de la République ainsi que de l'Empire fourmille de machines ; les différentes sources documentaires apportent des exemples précis ; la longue liste de ceux-ci est hors de notre propos. *Les dix livres d'architecture* de Vitruve, particulièrement le livre X¹⁵, aussi bien que l'iconographie¹⁶ et les vestiges archéologiques de fouilles récentes¹⁷ s'accordent sur l'usage courant de machines. Des machines élévatrices de lourdes charges solides, dans les carrières, les chantiers de construction ou bien pour charger et décharger les bateaux, sont nécessairement présentes partout ; elles comportent des treuils¹⁸, des poulies simples ou associées en moufles et bien d'autres mécanismes. Parmi les machines élévatrices d'eau, se rencontrent des pompes terrestres, en particulier pour l'exhaure des mines, ou bien embarquées sur les navires ; un travail récent a établi un bilan des données existantes sur le thème des machines élévatrices¹⁹. Il faut aussi évoquer les moulins de toutes sortes, dont certains utilisent également des mécanismes à engrenages, où le hérisson entraîne la lanterne, pour faire un renvoi d'un axe de rotation vers un autre perpendiculaire en même temps qu'une augmentation de la vitesse de rotation ; c'est le moulin dit de Vitruve (chap. X, livre X), de mieux en mieux connu à partir de vestiges archéologiques. Il faut aussi citer l'emploi de vis ; des pressoirs à raisins et des presses à tissus montrent l'usage de vis qui, pour exercer la pression, tournent dans un taraudage réalisé dans une traverse fixe²⁰. Le vaste monde des machines de guerres ne clôt pas une énumération qui n'en finirait pas.

Bien sûr, les savoirs décrits par Vitruve s'ancrent en grande partie dans le monde grec ; leur diffusion

et la complexification des mécanismes durant la seconde moitié du I^{er} millénaire a.C. sont loin d'être bien connus. Des questions d'importance subsistent, dont celle-ci : la manivelle est-elle en usage dans l'Antiquité ? Dans l'état actuel de nos connaissances, la réponse semble être négative. Cependant, une coupe attique, conservée au musée de Berlin, datée d'environ 500 a.C., montre à l'intérieur du récipient, à côté d'un forgeron au travail, la représentation d'un énigmatique outil avec un double coude²¹ ; celui-ci n'est pas en fonction, il est accroché au mur, ce qui ne facilite aucunement son interprétation. Le concept de la manivelle n'est pas nécessaire au fonctionnement des machines tournantes ; un treuil ou un cabestan peuvent être entraînés en actionnant des barres perpendiculaires au tambour qui dépassent de chaque côté. Dans le monde de tradition romaine, l'emploi d'une roue à excentrique est supposé, la démonstration étant appuyée par des arguments convaincants, dans une machine hydraulique de sciage de la pierre, datée du VI^e siècle p.C., dont les vestiges ont été mis au jour au Proche-Orient²². L'excentrique, conceptuellement proche de la manivelle, associé à une bielle permet dans ce cas de transformer une rotation continue en translation alternative. La manivelle est entrée dans les usages courants du monde médiéval²³, mais l'utilisation du vilebrequin, certainement dérivé de la manivelle, pour produire une rotation continue à partir d'une translation alternative ne pourrait bien être parfaitement intégrée que durant la période moderne²⁴. Pour des raisons assez évidentes d'inertie, la rotation alternative d'un tour, qui impose l'arrêt avant de repartir dans l'autre sens de rotation, ne peut être utilisée lorsque qu'il s'agit de lourdes pièces telles des colonnes ou des vasques de pierre de plusieurs centaines de kilogrammes au moins ; les hommes de l'Antiquité devaient obligatoirement disposer de tours continus ; la transmission de la rotation continue d'un tambour, ou d'une roue, à la pièce en cours de tournage peut être alors assurée par une simple courroie comme cela a été proposé²⁵.

Deux concepts très anciens : le levier et le ressort

Pour encore rester dans l'Antiquité, il est à remarquer que l'association de la rotation alternative d'un levier avec une translation en va-et-vient de pistons, reliés au bras de levier par des bielles, forme la pompe aspirante-foulante dite de *Ctésibios* (Vitruve, livre X, chap. XII). Des questions se posent quant à la précision de l'ajustage de chaque piston et du cylindre dans lequel il se meut. Ce problème de la précision des cotes des pièces est bien évidemment, car incontournable, au cœur du développement du machinisme.

La question de la précision se pose également pour la balance, machine simple, mais indispensable, utilisant aussi un mécanisme de levier double avec trois axes de rotation. Pour l'Antiquité, les vestiges matériels et les représentations sont très nombreux ; au moins deux types coexistent, l'un est symétrique, avec deux bras de levier de même longueur, l'autre est dissymétrique, c'est ce que l'on continue d'appeler la balance romaine. La fresque dite des amours orfèvres de la maison des *Vettii* à Pompéi représente un atelier de production de petits objets ; peu importe qu'ils soient en alliages précieux ou à base de cuivre, les problèmes techniques sont quasiment les mêmes²⁶. Au centre de la scène, trois balances symétriques sont bien visibles ; la longueur totale des fléaux correspond à deux modules différents. L'une des petites balances est tenue à la main par l'un des « angelots » ; les deux autres sont suspendues à une même potence ; la petite, située en dessous, est en quelque sorte enveloppée par la grande. Les plateaux des petites balances sont plus petits que ceux de la grande ; il est évident que les gammes de masses mesurées par l'un ou l'autre des modules ne sont pas les mêmes et que la plus petite est la plus précise. Les études de numismatique montrent que le poids des monnaies est, à la fin de la République romaine, calibré avec une précision absolue qui atteint souvent le centième de gramme ; cet exemple illustre l'attention

portée à l'exécution des instruments de mesure. Ceci est d'ailleurs, une vieille histoire, en effet dans la zone tempérée de l'Europe occidentale, le principe de la balance symétrique simple est connu au moins depuis l'âge du bronze²⁷.

Cependant, l'histoire de l'emploi du levier est encore bien plus ancienne. Des travaux récents, sur les techniques de taille des outils lithiques, démontrent de façon parfaitement convaincante qu'un système de levier a certainement été employé pour le débitage par pression de grandes lames²⁸. Dans le dispositif proposé, un levier dissymétrique, dont la longueur est de l'ordre de la taille d'un homme, agit sur un indenteur qui assure alors une force de débitage estimée de 200 à 300 kg. Une des extrémités du levier est engagée dans un logement fixe (un lourd tronc d'arbre fait l'affaire), l'autre est dans les mains du tailleur ; à faible distance du point fixe (10 à 20 cm), le levier pousse sur une pièce de bois, la béquille dont la longueur est de l'ordre de 50 cm, à l'extrémité de laquelle est la pièce active qui assure la pression voulue sur le bloc à débiter. Ce dispositif, qui comporte donc quatre éléments : la pièce fixe, le levier et la béquille armée d'une pointe active en cuivre ou en bois animal, a dû être employé, le plus souvent sur du silex, 3 ou 4 mille ans avant aujourd'hui en Europe occidentale. Cette machine, nous proposons d'utiliser ce terme, du néolithique n'est bien évidemment restituable que par le résultat de son action ; encore une fois, il est vain d'espérer que les pièces, si même elles sont conservées, puissent être identifiables.

Dans un autre registre, l'augmentation de l'énergie potentielle d'une masse par son élévation est un moyen de stockage d'énergie mécanique ; si la masse utilisée est accrochée à une corde, et si cette corde passe sur une poulie, le dispositif devient une machine ; c'est le mouton utilisé dans l'Antiquité, et peut-être bien avant, pour enfoncer des pieux. L'autre moyen simple de stockage de l'énergie mécanique est le ressort ; son usage, avec une déformation élastique en torsion ou en flexion, dans les machines de guerre de l'Antiquité est tout à

fait courant et bien documenté ; en revanche, le tour à perche semble bien ne pas être alors nu²⁹. Cependant, fonctionnant avec le mécanisme du ressort, l'arc est bien plus ancien.

L'amélioration de l'efficacité des dispositifs qui lancent des projectiles destinés à blesser, voire à tuer, une proie est certainement un des objectifs des chasseurs les plus anciens. Un objet qui pénètre dans les chairs cause des dommages à des organes internes souvent plus graves qu'un objet contondant. Une grande portée est aussi, à l'évidence, un facteur qui accroît les chances de succès. Augmenter la puissance du dispositif de lancement et ainsi la vitesse initiale du projectile, donc son énergie cinétique sans jouer sur la masse, accroît sa portée et/ou sa pénétration. Bien évidemment, la masse du projectile est un paramètre important ; mais, d'une part la force humaine est limitée, d'autre part les projectiles doivent être transportés ; il est donc certainement plus efficace, en bilan d'énergie à dépenser par le chasseur, d'augmenter la puissance du dispositif de propulsion sans augmenter la masse du projectile, voire en l'allégeant. Un javelot, une sagaie, lancés à la main, doivent avoir une masse suffisante pour assurer la pénétration mais la portée est faible. Un dispositif d'augmentation de la puissance, qui emploie le concept de levier, est le propulseur³⁰ ; c'est l'un des plus anciens, son usage dans le courant du paléolithique supérieur, soit donc il y a plusieurs dizaines de milliers d'années, est bien attesté par les propulseurs eux-mêmes qui nous sont parvenus. Un autre dispositif, dont chacun connaît le succès encore actuel, est l'arc ; l'énergie élastique stockée par la flexion des branches, et la rapidité de la détente³¹, permettent de conférer une importante énergie cinétique à un projectile léger. L'iconographie indique sans ambiguïté son usage au néolithique ; des vestiges d'arcs du mésolithique (datés de 6000 a.C. environ) sont connus en Europe du Nord, où la conservation du bois est meilleure qu'aux latitudes tempérées. Cependant, des travaux récents démontrent de manière convaincante, à partir de vestiges archéo-

logiques (petites pointes lithiques et traces d'impacts sur des os) et d'expérimentations que ce dispositif a été employé dans l'ancien monde au moins depuis le début du paléolithique supérieur, voire avant³².

Ainsi, le propulseur, réalisé en une seule pièce, est un type d'outil simple, alors que l'arc, avec deux pièces, le bois et la corde, nous semble être la plus rudimentaire et la plus ancienne des machines ; pour nous c'est une machine, car l'idée de la complexification est là ! Il est à remarquer que l'antériorité de l'usage d'un des dispositifs par rapport à l'autre ne semble pas établie actuellement ; aucun raisonnement sur la chronologie ne doit donc être construit.

Qu'en conclure ?

Laffite, comme beaucoup de nos contemporains, parle du « machinisme libérateur »³³ ; c'est une interprétation réductrice, presque une erreur, issue d'une pensée qui privilégie la recherche de confort dans un fonctionnalisme dont le but serait altruiste.

Tout d'abord, il s'agit bien plus de raisonner en termes de puissance, au sens de la mécanique, c'est-à-dire d'énergie produite, ou consommée, par unité de temps. Bien que certains individus soient plus forts que d'autres, la force humaine est limitée ; la force est un paramètre important, l'énergie est le travail de cette force, mais bien souvent, sans même réfléchir, nous agissons par rapport à la puissance. Par exemple, monter une pente en suivant un chemin en lacets est une adaptation de la puissance fournie par rapport à la puissance consommée ; le travail total est le même que si l'on monte tout droit, mais en faisant un chemin plus long, de plus faible pente, le risque d'épuisement est plus faible. Ce choix d'endurance, plus ou moins conscient, est fait sans avoir besoin de comprendre les lois de la mécanique ; combien de nos contemporains utilisent correctement un changement de vitesse, sans avoir aucune idée des principes de son fonctionnement ? En premier lieu, il ne s'agit pas de confort

mais d'efficacité ; lorsqu'une main appuie sur la crapaudine d'un perçoir, alors que l'autre actionne l'archet, la puissance développée est bien plus grande que si l'outil perforant est roulé entre les mains. Avec une machine, aussi simple que celle que nous venons d'évoquer, en plus de la puissance fournie, il est certain que la précision de la réalisation est bien meilleure car le contrôle du guidage de la partie active est mieux géré.

En second lieu, disposer d'une main d'œuvre abondante n'augmente l'efficacité que pour certaines tâches, ne résout pas tous les problèmes, en particulier n'augmente que rarement la puissance (au sens de la mécanique) et ne remplace jamais les savoirs. Monter une grande quantité d'eau peut être effectué par de nombreux petits seaux aussi bien que par une pompe ; mais souvent la durée de l'opération n'est pas indifférente et le concept de débit doit être pris en compte, aussi bien pour vider la cale d'un navire que pour l'exhaure des mines. Monter des pierres de plusieurs centaines de kilogrammes, voire de plusieurs tonnes, peut être réalisé sans grue grâce à des plans inclinés mais avec une productivité bien inférieure. En revanche, pour faire fondre 100 kilogrammes de bronze, il ne sert à rien de disposer d'un grand nombre de personnes, alors que, pour des raisons évidentes d'encombrement de l'espace, seuls quelques individus peuvent être utiles simultanément.

Le modèle qui consiste à penser que dans l'Antiquité tous les problèmes techniques ont été résolus par une main d'œuvre quasi infinie et de peu de coût est un non-sens. Peu de tâches ne requièrent aucun savoir, or acquérir des savoirs impose un investissement dans des temps de formation ; d'autre part, pour être efficace, une main d'œuvre doit être en état de travailler. Bien sûr, dans nombre de sociétés, des conditions de travail, associées à des comportements de cruauté, aboutissant rapidement à la mort de l'individu, ont existé, voire existent encore ; pour rester dans le champ technique, il s'agit là d'efficacité d'extermination et non de productivité. Sans souhaiter être cynique, il

ne faut jamais oublier qu'un galérien mort ne rame plus ! Ceci peut être déterminant, en particulier dans des situations de combat. La confusion des genres ne doit pas être entretenue.

Le moteur premier du développement du machinisme n'est certainement pas la recherche du confort du travailleur mais la productivité, et la qualité de réalisation, de l'acte technique. Le monde des grands singes utilise des outils pris en main ; le galet qui frappe un fruit à coque ou la branchette effeuillée pour la « pêche » aux termites, en sont des exemples emblématiques. À notre connaissance, il n'existe pas de société humaine sans acte technique ; les outils lithiques préexistent au genre *Homo*. Dans un tableau évolutionniste – l'évolution étant jaugée en termes de complexité – se rencontre d'abord l'outil simple, en une seule pièce, qui frappe, coupe, piège les termites..., puis vient la pièce active emmanchée qui permet une meilleure préhension et qui utilise souvent des effets de levier et/ou de masse. Le bras de levier du manche d'une hache augmente la puissance d'action ; il en est de même pour la masse localisée à la partie distale. Une masse importante de bois autour d'une pièce active en silex augmente l'efficacité ; si la pièce active est en bronze (alliage de cuivre et d'étain) cette masse de bois n'est pas nécessaire puisque la masse volumique du bronze est environ neuf fois supérieure à celle d'un bois. Point n'est besoin de connaître les concepts de moment, de couple, de masse volumique, de centre de gravité, d'énergie cinétique..., pour percevoir les différences. Nos articulations, nos muscles, sont bardés de capteurs (chacun sait la position de chacun de ses doigts même s'il ne voit pas sa main) qui, avant d'apprécier le résultat de l'acte, nous permettent d'estimer ces paramètres de masse, de moment, de puissance, de réponse de la matière travaillée... Au-delà d'un emmanchement, dans l'échelle de la complexité, se situe la machine ; ainsi, l'arc, avec au moins trois pièces (le bois de l'arc, la corde et la flèche) est certainement la plus simple et la plus ancienne des machines. L'existence de machines durant le néolithique est

absolument certaine ; pour ce qui est du paléolithique supérieur, les arguments qui la démontrent s'affinent de plus en plus.

Le concept même de machine est une expression du mode de pensée. Laffite, quelque peu excessif, écrit en 1932 : « Sans homme, pas de machine ; pas d'homme sans machine. [...] Elles sont nous ; elles sont, comme nous, belles, et laides, comme nous. »³⁴. Deleuze, plus profond, nous conforte dans l'idée de l'ancrage social : « L'histoire des techniques montre qu'un outil n'est rien, en dehors de l'agencement machinique variable qui lui donne tel rapport de voisinage avec l'homme, les animaux et les choses [...] C'est la machine qui fait l'outil, et pas l'inverse. [...] La machine est sociale en son premier sens... »³⁵. La finalité alimentaire n'est pas le seul moteur du développement et du perfectionnement des techniques ; l'acte social de fabriquer des objets de parure pour afficher son identité est clairement un lieu d'investissement pour les hommes des sociétés de la Préhistoire. Pour preuve encore, les complexes technologies du métal des sociétés protohistoriques se développent, en utilisant des machines, autant pour fabriquer des parures ou des vases, marqueurs du rang social et offrandes de qualité aux dieux, que pour produire des outils et des armes³⁶. Il est à remarquer enfin qu'il existe, ce que nous choisissons de désigner par « machines symboliques » ! Les mobiles, de Tinguelli ou de Niki de Saint-Phalle, et les instruments de musiques, pour ce qui est du contemporain, n'en sont-ils pas ? Les rhombes de la Préhistoire ne sont-ils pas aussi les prémisses de véritables machines – les orgues hydrauliques, par exemple – qui s'épanouissent dans l'Antiquité ?

¹ LAFFITE Jacques, *Réflexions sur la science des machines*, Paris, Vrin, 1972 (1932), p. 68.

² Rappelons qu'un archet comporte une baguette de bois courbe, aux extrémités de laquelle est assujettie une corde d'origine végétale, ou une lanière de cuir, non tendue et qui fait un ou

plusieurs tours morts sur l'axe de rotation ; un mouvement de va-et-vient de l'archet entraîne donc une rotation alternative de l'axe.

³ Voir plus loin, note 29.

⁴ La flexion d'une perche de bois et la torsion de tendons sont des exemples courants de l'usage de ressorts non métalliques.

⁵ Voir par exemple : LEROI-GOURHAN André, *L'homme et la matière*, Paris, Albin Michel, 1971 (1943), p. 56, fig. 37. Il est à remarquer que le mot *machine* n'est pas une entrée dans l'index de l'ouvrage de référence *Évolution et techniques* de Leroi-Gourhan (LEROI-GOURHAN André, *Milieu et techniques*, Paris, Albin Michel, 1973 (1945), p. 465).

⁶ Un outil peut être employé directement avec la main, qu'il soit emmanché ou non, il peut aussi devenir une pièce d'une machine, comme dans le sens en usage pour une machine-outil.

⁷ RAD UND WAGEN, ouvrage collectif, *Rad und Wagen. Der Ursprung einer Innovation. Wagen im Vorderen Orient und Europa*, Oldenburg, 2004.

⁸ Pour ce qui est des âges des métaux en Europe occidentale, voir par exemple les représentations explicites sur des stèles funéraires de guerriers de la péninsule ibérique au IX^e-VIII^e siècles a.C. (ALMAGRO-GORBEA Martin, *El Bronce Final y el Periodo Orientalizante en Extremadura*, Madrid, Bibliotheca Praehistorica Hispana, vol. XIV, 1977, fig. 67-70, p. 170-173 ; pl. XVIII-XIX).

⁹ GOMEZ DE SOTO José, PICOD Christophe, « Utilisation d'un système tournant et du compas au début du Bronze moyen en Extrême Occident : les éléments de harnachement de la grotte des Perrats à Agris (Charente) », dans FEUGERE Michel et GEROLD Jean-Claude, *Le tournage des origines à l'an mil*, Monographie *instrumentum* 27, Montagnac, éditions monique mergoïl, 2004, p. 37-41.

¹⁰ Un exemple démonstratif est donné par des épingles en bronze, datées de la fin du XIII^e siècle a.C., trouvées en Bourgogne (ARMBRUSTER Barbara, PERNOT Michel, « La technique du tournage utilisée à l'âge du Bronze final pour la fabrication d'épingles de bronze trouvées en Bourgogne », *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 103/2, 2006, p. 1-7.).

¹¹ Les propositions faites dans ARMBRUSTER Barbara, *Goldschmiedekunst und Bronzetechnik*, Monographie *instrumentum* 15, Montagnac, éditions monique mergoïl, 2000 (p. 148, fig. 80) ou encore dans PICOD Christophe, MORDANT Claude, « Nouvelles expérimentations pour la reproduction d'épingles de l'Âge du Bronze. Les apports des techniques de l'orfèvrerie : le tournage de la cire perdue », dans FEUGERE Michel et GEROLD Jean-Claude, *Le tournage des origines à l'an mil*, Monographie *instrumentum* 27, Montagnac, éditions monique mergoïl, 2004,

p. 43-52 (p. 46, fig. 8) sont parfaitement recevables mais construites en l'absence de preuves archéologiques.

¹² La crapaudine est le plus souvent une pierre avec une cupule ; dans celle-ci se loge l'une des extrémités de la partie tournante, l'autre étant dans le trou en cours de forage. Cette pièce permet de maintenir l'arbre dans l'axe désiré et d'imposer par appui une force sur la partie active du perceur.

¹³ Les représentations de perceurs à archet de la sépulture de Rhek-mi-Ré (DAVIS, Norman de Garis, *The Tomb of Rekh-mi-Re' at Thebes*, 2 vol., The Metropolitan Museum of Art, Egyptian Expedition, New York, 1943, vol. 2, pl. LII-LIII), datée du XV^e siècle a.C., sont souvent reprises en illustration, par exemple dans ARMBRUSTER Barbara, « Le tournage dans l'orfèvrerie de l'Âge du Bronze et du premier Âge du Fer en Europe Atlantique », dans FEUGERE Michel et GEROLD Jean-Claude, *Le tournage des origines à l'an mil*, Monographie *instrumentum* 27, Montagnac, éditions monique mergoïl, 2004, p. 53-70 (p. 54, fig. 1).

¹⁴ Pour ce qui est de l'Antiquité, une représentation d'un perceur à archet existe dans une peinture murale de Pompéi qui montre un menuisier au travail (ÉTIENNE Robert, *Pompéi la cité ensevelie*, coll. Découverte 16, Paris, Gallimard, p. 73).

¹⁵ Voir par exemple la traduction de Claude Perrault publiée en 1673 (Bibliothèque de l'Image, 1995).

¹⁶ Une illustration emblématique est donnée par la célèbre stèle des *Haterii* qui montre cinq hommes actionnant « la cage à écureuil » d'une grue de puissance (HOMO FABER, catalogue d'exposition, « *Homo Faber. Natura, scienza e tecnica nell'antica Pompei* », Napoli, Electa, 1999, p. 282).

¹⁷ La reconstitution de la machine élévatrice d'eau du II^e siècle utilisant une chaîne à godets et des engrenages de renvoi de la rotation à 90°, réalisée en 2003 à partir des vestiges d'une fouille récente et présentée au *Museum of London*, est un excellent exemple (BLAIR Ian, HALL Jenny, « *Working water. Roman technology in action* », Museum of London, 2003).

¹⁸ Le treuil est le dispositif le plus simple qui enroule une corde sur un tambour dont l'axe est horizontal, à la différence d'un cabestan dont l'axe est vertical. L'emploi de treuils est certainement antérieur de plusieurs millénaires au monde romain, mais là encore les preuves font défaut.

¹⁹ COADIC Sophie, *Les machines d'élévations dans le monde romain du IV^e s. a.C. au VI^e s. p.C.*, thèse Université Bordeaux 3, 2009.

²⁰ La « machine à repasser » représentée dans un ensemble de peintures murales de Pompéi qui montre des scènes du traitement de tissus donne un exemple de presse à vis (HOMO FABER 1999, op. cit., fig. 120, p. 141).

²¹ La représentation de cette scène se trouve dans de nombreux ouvrages, par exemple dans LE ARTI DE EFESTO, catalogue d'exposition, « *Le arti de Efestò. Capolavori in metallo dalla Magna Grecia* », Milano, SilvanaEditoriale, 2002, fig. 1, p. 40).

²² MORIN Thierry, SEIGNE Jacques, « Restitution et reconstitution d'une scierie hydraulique du VI^e siècle de notre ère à Gerasa/Jerash (Jordanie), dans *Virtual Retrospect 2007*, Bordeaux, Ausonius éditions, 2008, p. 261-268.

²³ Une scène de la fabrication d'une cloche, au XIV^e siècle, donne une représentation claire de l'usage d'une simple manivelle (DAUMAS Maurice, *Histoire générale des techniques, t. 1/ Des origines au XV^e siècle*, Paris, Quadrige / PUF, 1962 réédition 1996, fig. 81, p. 522).

²⁴ PICOD Christophe, *Les tourneurs sur bois*, Belfort, France Régions, 1991, p. 74.

²⁵ BESSAC Jean-Claude, « Le tournage antique d'éléments architecturaux », dans FEUGERE Michel et GEROLD Jean-Claude, *Le tournage des origines à l'an mil*, Monographie instrumentum 27, Montagnac, éditions monique mergoil, 2004, p. 187-200, fig. 8, p. 194.

²⁶ PERNOT Michel, « Quels métiers les arts des plombiers, bronziers et orfèvres impliquent-ils ? », dans MONTEIX Nicolas et TRAN Nicolas, *Les savoirs professionnels des gens de métier. Études sur le monde du travail dans les sociétés urbaines de l'empire romain*, Naples, Collection du Centre Jean Bérard, 37, 2011, p. 101-118, fig. 60, p. 105.

²⁷ Un petit fléau de balance, de 11 cm de longueur, réalisé en os mis en forme par tournage (l'association est remarquable), daté du milieu du II^e millénaire a.C., constitue un exemple archéologique précis (PEAKE Rebecca, SÉGUIER Jean-Marc, « Balances en os de l'âge du Bronze dans le sud-est du Bassin parisien », *Archéopages*, 1, juin 2000, p. 20-29).

²⁸ PÉLEGRIN Jacques, « Grandes lames de l'Europe néolithique et alentour », dans MARQUET Jean-Claude, VERJUX Christian, dir., *L'Europe déjà à la fin des temps préhistoriques. Des grandes lames en silex dans toute l'Europe*, Actes de la table ronde internationale de Tours, sept. 2007, 38^e Supplément à la Revue Archéologique du Centre de la France, p. 11-43, fig. 1 et 10.

²⁹ Le principe du tour à perche est très proche de celui du tour à archet. La corde qui entraîne en rotation alternative l'axe du tour est fixée, à l'une de ses extrémités, à une pièce de bois et à l'autre à une pédale. Un appui sur la pédale fait tourner l'axe et met en flexion la pièce de bois – la perche – qui revient à sa position initiale lorsque la pédale est relâchée en assurant la rotation de l'axe dans l'autre sens. Ce dispositif autorise plus de puissance pour la machine ; de plus, la pédale actionnée au pied permet au tourneur d'utiliser ses deux mains pour guider l'outil de coupe.

Des représentations médiévales prouvent que le tour à perche était en usage à cette période (PICOD 1991, op. cit., fig. sans n^o, p. 93-94). Cette machine, déclinée aussi en tour à arc lorsque ce dispositif remplace la perche, était, en contexte artisanal, encore employée dans la France des années 1950-60 (PICOD 1991, op.cit., fig. sans n^o, p. 206).

³⁰ Il est à noter que le principe du propulseur - la vitesse conférée au projectile est d'autant plus grande que le bras de levier est grand puisqu'une distance plus grande est parcourue dans le même temps - est quasiment le même que celui de la fronde.

³¹ Le paramètre temps ne doit pas être oublié. Le retour élastique à l'état d'équilibre n'est pas instantané ; la constante de temps du dispositif est le paramètre qui, au premier ordre, détermine la vitesse initiale de la flèche. Le choix de l'essence de bois doit prendre en compte ceci. Rappelons que cette vitesse de départ (v) intervient au carré dans le calcul de l'énergie cinétique $E = \frac{1}{2}mv^2$, alors que la masse (m) est à la puissance 1. Un doublement de la masse du projectile incrémente l'énergie d'un facteur 2, alors qu'un doublement de la vitesse initiale l'incrémente d'un facteur 4. Ceci est la justification physique du fait, perçu par les anciens, qu'un projectile léger peut être aussi efficace, avec une portée plus longue, qu'un projectile lourd.

³² Un bilan bibliographique peut être trouvé dans : CATTELLAIN Pierre, « Apparition et évolution de l'arc et des pointes de flèches dans la Préhistoire européenne (Paléo-, Mésolithique, Néolithique », dans BELLINTANI Paolo et CAVULLI Fabio, *Catene operative dell'arco preistorico*, Trento, 2006, p. 45-66.

³³ LAFFITE 1972, op. cit., p. 121.

³⁴ LAFITTE 1972, op. cit., p. 119.

³⁵ DELEUZE Gilles, PARNET Claire, *Dialogues*, Champs essais, Flammarion, 1996, p. 126-127.

³⁶ PERNOT Michel, « Du métal pour parer le corps », dans BOËTSCH Gilles, CHEVÉ Dominique, CLAUDOT-HAWAD Hélène, éd., *Décor des corps*, Paris, CNRS-éditions, 2010, p. 155-161.