



HAL
open science

La "théorie des machines simples" : une singulière collection

Jean-Yves Dupont

► **To cite this version:**

Jean-Yves Dupont. La "théorie des machines simples" : une singulière collection. Cahiers d'histoire du Cnam, 2014, Les sciences de l'homme au travail au Cnam à l'aube des Trente Glorieuses, vol.01 (1), pp. 141-151. hal-02310930

HAL Id: hal-02310930

<https://hal.science/hal-02310930>

Submitted on 11 Oct 2019

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Hommage

La « théorie des machines simples » : une singulière collection

Jean-Yves Dupont

Ancien professeur agrégé, INRP†

Dans un livre de lectures de textes originaux intitulé *Physique et physiciens*, publié en 1939 à l'usage de l'enseignement du second degré, Robert Massain écrit : « *Il est convenu d'appeler machines simples, les machines qui facilitent l'exécution d'un travail mécanique. Tels sont la poulie, le plan incliné, le levier, le treuil, la vis, la presse hydraulique etc.* »¹ Le dictionnaire *Petit Robert*, dont la première édition date de 1967, précise que le terme « machine » est aussi un terme didactique de Mécanique, pour laquelle il existe des « machines simples » – cinq

dans la liste qui est donnée – et des « machines composées » qui sont des combinaisons de machines simples. On pourrait alors comprendre que toute machine n'étant qu'un assemblage de quelques organes élémentaires, une théorie de la conception devrait découler de la maîtrise de cette petite collection d'objets particuliers. Hélas la construction mécanique n'est pas un art si facile.

Le *Précis de Mécanique* de Georges Papelier, dont la dizaine d'éditions entre 1919 et 1955 aura marqué de nombreuses générations de candidats aux écoles d'ingénieurs, donne une définition plus abstraite : « *une machine simple est un corps solide gêné* ». Il poursuit : « *On utilise principalement les machines à l'état de mouvement, mais nous ne les étudions ici qu'à l'état de repos. Considéré à l'état de repos ou à l'état statique, une machine sert à équilibrer une force appelée résistance au moyen d'une force appelée puissance* » (aujourd'hui on parlerait plutôt des efforts du moteur et du récepteur). Le cadre est ainsi posé : il s'agit de Statique et non de Dynamique

Avant d'entreprendre la description

¹ Ce texte est une publication posthume de Jean-Yves Dupont, ancien professeur agrégé de mécanique, chercheur associé au Service d'Histoire de l'Éducation de l'INRP, et membre des activités de la Commission d'histoire de la SEIN décédé en 2011. Spécialiste de la formation technique et aux machines (en particulier les cours de mécanique à l'École polytechnique) en rapport avec les industries de la construction mécanique en France au XIX^e siècle, il a travaillé plus généralement sur le thème des sciences de l'ingénieur. Un fonds personnel, constitué d'une collection documentée de plus de 3500 ouvrages ainsi que de ses archives de travail, lui est dédié et est conservé au Centre d'Archives de Philosophie, d'Histoire et d'Édition des Sciences (CAPHES). Ce texte a été remis par l'auteur à Claudine Fontanon avant son décès, et les éditeurs du *CHC* ont décidé de le publier en l'état dans le premier numéro de leur nouvelle série, à titre d'hommage.

de ces machines en détail, il nous faut faire quelques remarques à propos du vocabulaire. Si les « machines simples » sont souvent rapprochées de divers mécanismes connus dès l'Antiquité, ce terme ne semble pas remonter au-delà de 1725, date à laquelle il est employé par Camus dans l'Avertissement placé en tête de la Nouvelle mécanique de Varignon (édition posthume établie par l'Académie). Citons aussi le titre du célèbre mémoire de Charles Augustin Coulomb (1736-1806) qui fut primé par l'Académie des sciences en 1781 et réédité en 1821 : *Théorie des machines simples, en ayant égard au frottement de leurs parties et à la roideur des cordages*. L'énoncé du sujet de concours ne peut induire en erreur. Il s'agissait alors de l'étude des lois du glissement, pour lesquelles il était exigé « *des expériences nouvelles et faites en grand [...] applicables aux machines utilisées dans la Marine, telles que la poulie, le cabestan et le plan incliné* ». Les résultats ainsi obtenus devaient servir au calcul des efforts mis en jeu dans les machines, et par conséquent enrichir leur théorie.

On ne parlera plus des mémoires de Lazare Carnot, qui eux traitaient de la théorie des machines simples et ne furent pas retenues à ce même concours. Mais précisons néanmoins que cette expression ne prendra tout son sens que vers la fin du XIX^e siècle, dans diverses études portant sur les principes de la mécanique classique. En histoire des sciences, son usage est maintenant consacré dans toute la littérature occidentale – alors qu'en France la notion même de machines simples disparaît des programmes de l'enseignement

dans la deuxième moitié du XX^e siècle.

Inventaire

Lorsqu'il n'est pas utilisé dans un sens large pour décrire toutes sortes d'applications courantes (comme de nombreuses bascules et balances), le terme de « machines simples » désigne traditionnellement de cinq à sept machines emblématiques, avec leurs variantes.

Le levier, tout d'abord, est associé aux travaux d'Archimède (287-212 avant notre ère) qui en établit la théorie mathématique dans son traité *De l'équilibre des plans*, fondant la science de la Statique. Qu'il soit droit ou coudé, il est présent chez presque tous les auteurs (avec la variante de la *balance* dite romaine), dans la mesure où il illustre le principe des moments (l'effet de la force est proportionnel à sa distance au point d'articulation). Quant à son usage, il est trop universel pour devoir s'y appesantir.

La *poulie*, qu'elle soit fixe ou mobile, permet de mettre en évidence le changement d'orientation d'une force lorsque les deux brins de la corde qui s'y enroule ne sont pas parallèles. Avec ses dérivés (*moufles* : ensemble de poulies dans une même chape, et *palans* : associations de poulies fixes et mobiles), on retrouve un procédé ancien de levage ou de tirage par démultiplication des efforts.

Le treuil, aussi appelé tour ou roue (avec son essieu), ne doit pas être confondu avec la roue d'Aristote (384-322 avant notre ère) qui se rapporte à un problème de Cinématique. D'une certaine manière,

le principe du treuil est un composé des deux précédents : l'effort appliqué sur la manivelle n'a ni la direction, ni l'intensité de la force résistante s'exerçant sur le tambour. Comme le *cabestan* dont l'axe est vertical, le *vindas* ou *Guindeau* dans la marine, il est employé à tirer de lourdes charges. Dans certains ouvrages son étude est suivie de celle des *engrenages*.

La *corde* ou le *cordage*, appelé aussi machine funiculaire par Varignon (1654-1722) lorsqu'il en fait une septième machine, repose davantage sur une analyse d'ordre théorique. Il s'agit de mettre en évidence le principe de composition des forces, le fameux parallélogramme formé à partir de deux brins tendus sous l'effet d'un poids vertical qui en marque la diagonale.

Le *plan incliné* doit être distingué de celui de Galilée (1564-1642), utilisé pour démontrer la loi de la chute des corps. Celui qui nous intéresse sert à démontrer la décomposition des forces, autre parallélogramme. Mais la résolution de ce problème peut être laborieuse : Simon Stevin (1549-1620) décrète l'impossibilité du mouvement perpétuel, Gilles de Roberval (1602-1675) se base sur le levier coudé. S'il est difficile ici de parler de machine, au même titre que pour les trois premières, son étude est pourtant indispensable comme préliminaire aux suivantes – ou comme introduction au phénomène du frottement.

Le *coin* n'est pas une machine mais plutôt un outil utilisé pour fendre le bois ou la pierre. Il est comparable au principe du plan incliné, sauf qu'il est double. Aussi, pour les Grecs, s'agit-il de la même

machine, ce qui fera dire à Varignon : « *ils n'en comptent que cinq quoiqu'ils en emploient six [...] auquel on peut en ajouter une* ».

La *vis* pour finir, n'est certes qu'un plan incliné enroulé sur un axe ; mais elle ne peut fonctionner seule : il faut l'associer à un écrou ou une roue dentée, et faire en sorte de guider les mouvements des uns et des autres. La schématisation de ces mécanismes (système *vis-écrou* ou *roue dentée – vis sans fin*) se complique suffisamment pour qu'il soit vain de poursuivre. Mais son usage est attesté, dans le presseur à vis par exemple, décrit comme « *association d'un levier et d'un plan incliné* ».

Une dernière machine leur est parfois ajoutée, bien qu'elle dépende d'un autre domaine : la presse hydraulique, décrite par Blaise Pascal (1623-1662) qui la compare « *aux anciennes savoir le levier, le tour, la vis sans fin etc. car un vaisseau plein d'eau est une machine de mécanique pour multiplier les forces.* » Cet appareil est aussi attribué à Joseph Bramah (1748-1814), celui-ci ayant déposé à Londres un brevet d'exploitation en 1796, après avoir résolu le problème de l'étanchéité.

On aura remarqué que la cohérence de ce petit ensemble d'objets va en s'atténuant au fur et à mesure de sa description, pendant qu'apparaît la question du nombre de ses éléments. Mais différents points de vue s'entrecroisent, et aucune définition n'a encore été établie à la base de ce regroupement : il faut donc admettre que cet essai de synthèse n'est pas satisfaisant.

L'apparente unicité de référence au

terme « machine simple » masque en fait des disparités d'usage et de besoin. Cette collection dont l'origine remonte à l'Antiquité et qui est remise à l'honneur au XVI^e et XVII^e siècles, ne trouve de justification qu'aux XVIII^e et XIX^e siècles.

Savoirs et techniques de l'Antiquité

Le texte le plus ancien qui nous soit parvenu et qui aborde notre sujet remonte à l'École d'Aristote. Intitulé *Questions* (ou *Problèmes*) de *Mécaniques* et daté du II^e siècle avant notre ère, il sera redécouvert à la Renaissance et souvent discuté à partir de sa version grecque, imprimée dès 1497, ou de ses diverses traductions latines. Cet ouvrage, relativement court, est assez déconcertant. Il aborde de nombreux sujets, d'un point de vue tantôt théorique tantôt pratique, allant de l'équilibre du levier des balances au mouvement des roues et des projectiles, en passant par l'arrache-dent et le casse-noix, le gouvernail et les voiles de navire, la résistance des troncs et des branches d'arbre... Si la distinction entre Statique et Cinématique n'est pas toujours nette, la principale originalité de ce texte est la recherche d'un principe commun : « *Il n'est pas étonnant que le cercle soit le principe même de toute merveille. Les propriétés de la balance se réduisent au cercle, les propriétés du levier à celle de la balance, et presque tout ce qui concerne les mouvements mécaniques se réduit au levier.* » Malgré la brièveté de ces quelques raccourcis, et certaines erreurs de raisonnement, le coin étant ici considéré comme un levier double dont l'extrémité serait fixe – ce traité participe des réflexions fécondes à l'élaboration de la science mé-

canique du XVII^e siècle.

D'une toute autre manière, Les *Mécaniques* de Héron d'Alexandrie (II^e siècle) s'attachent à traiter des machines comme « *Élévateurs de corps lourds* » – sous-titre de la traduction française établie en 1893 à partir de la version arabe de Qusta Ibn Luqua (I^e siècle). C'est dans cette sorte de compilation dont la cohérence n'est pas manifeste, qu'on trouve la trop fameuse phrase relative aux « cinq puissances », ici dans sa traduction moderne : « *les machines simples par lesquelles on meut un poids avec une puissance donnée sont au nombre de cinq [...]* Voici leurs noms : le treuil, le levier, la poulie, le coin et la vis sans fin. » Quant à l'explication générale, elle tient en ce que « *ces machines sont fondées sur un principe naturel unique, bien qu'elles soient très différentes en apparence* » ; en effet, « *elles se ramènent à des cercles montés sur un seul centre quoiqu'elles se réduisent encore plus directement à la balance qu'au cercle.* » À côté d'un inventaire technique (train d'engrenage et roues de friction ; appareils de levage, grues et chèvres à palans, cabestans ; presse à levier ou à vis ; machine à tarauder pour la réalisation de filetages d'écrou), on y trouve une généralisation simpliste, dans le genre aristotélicien.

Cette œuvre était par ailleurs connue à la Renaissance par le livre VIII des *Collections Mathématiques* de Pappus d'Alexandrie (III^e-IV^e siècles), qui fut publié à Pise en 1588 dans une traduction latine. Il y est reproduit des fragments du texte original d'Héron, dont certains ont pu être rajoutés par les copistes suc-

cessifs du manuscrit grec sur lequel est basée la traduction française de 1933. Il comporte aussi quelques développements personnels de Pappus, notamment sur la détermination pratique des roues dentées d'un réducteur donné ou sur la théorie du palan incliné, qui est alors explicitement associé au coin, instrument utilisé pour fendre le bois. Les défauts de son analyse quant à la décomposition des forces (normales et tangentielles) ont été soulignés par différents auteurs, qui reconnaissent ainsi son influence. Ils nous assurent de la diffusion de cet ouvrage, et donc de la théorie de Héron sur les « Cinq puissances mécaniques » associée explicitement à l'héritage d'Archimède, car leurs ouvrages ont démontré « *que les grands cercles forcent les petits cercles quand leur rotation s'effectue autour du même centre* ».

C'est une démarche davantage utilitariste, propre aux ingénieurs, qu'adopte le latin Vitruve (I^{er} siècle avant notre ère) dans son ouvrage *De l'Architecture*, dont Claude Perrault (1613-1688) donnera une traduction française en 1673 (revue et augmentée en 1684). Il y traite des machines utiles à la construction, au soulèvement et à la traction de lourdes charges (palans et chèvres – « *Une machine est système coordonnée de pièces de bois par le moyen duquel on peut remuer de très lourdes charges* ») ; des roues hydrauliques et des mécanismes d'élévation de l'eau (vis dite d'Archimède, pompes refoulantes dites machines de Ctésibios (III^e siècle avant notre ère) ; des arts militaires (béliers, catapultes et balistes). L'auteur reste dans la tradition en nous assurant

que « *tout mécanisme a son origine dans la nature et son principe dans la rotation du monde, qui en a été l'initiateur et le guide* », mais il n'est pas vraiment question ici de théorie générale, ni même de l'esquisse d'une classification en « machines simples ».

Ces différents textes, dont l'influence est certaine au XVI^e siècle, ont deux caractéristiques. Tout d'abord il s'agit de collationner un savoir technique, centré sur les machines utilisées à l'époque. Les arts mécaniques concernent avant tout la construction civile et militaire, mais aussi le transport et le levage – auxquels se joignent parfois quelques éléments d'hydraulique. Ces premiers inventaires tendent à s'organiser tant bien que mal, alors que la science n'est pas encore en mesure de leur fournir tous les outils nécessaires. Pourtant, il en ressort toujours une certaine idée de l'unité qui doit présider à cette description : un principe fondamental doit pouvoir expliquer tous les phénomènes – même s'il n'est pas clairement établi qu'il s'agisse du levier ou du cercle. Les études ultérieures poursuivront cette voie, et il appartiendra à la science classique de clarifier la question.

En effet, les manuscrits du Moyen Âge qui nous sont parvenus ne concernent que des études particulières (celle du levier ou du plan incliné), à côté de compilations essentiellement techniques. Ni les recueils arabes de « dispositifs ingénieux » rédigés entre le IX^e et le XII^e siècles, ne se préoccupent de « machines simples » – et les théâtres de machines du XVI^e siècle pas davantage.

Mécanique et machines aux XVI^e et XVIII^e siècles

C'est à l'Université de Padoue que s'initie une nouvelle tradition, avec Guidobaldo del Monte (1545-1642) qui publie en 1577 son *Mechanicorum liber* (*Le Mechanishe* dans la traduction italienne de 1581). Il reprend les « cinq instruments mécaniques élémentaires » des textes anciens et leur cherche un principe commun dans les propriétés de la balance. Vers la fin du XVI^e siècle, Galilée (1564-1642) donne un cours sur les Mécaniques, connu sous ce titre grâce au Père Marin Mersenne (1588-1648) qui le traduit en français en 1634 – à une époque où Galilée se préoccupe davantage du mouvement des planètes et de la chute des corps. Il y ramène l'étude de diverses « mécaniques » au principe des moments, et introduit le mouvement dans les problèmes d'équilibre : « Il faut donc ici considérer quatre choses, à savoir le fardeau que l'on veut transporter d'un lieu à un autre ; la force qui doit le mouvoir ; la distance par laquelle se fait le mouvement ; et le temps dudit mouvement, parce qu'il sert à en déterminer la vitesse. »

En 1637, René Descartes (1596-1650) écrit une *Explication des engins par l'aide desquels on peut avec une petite force lever un fardeau fort pesant*, qui sera publié en 1668 sous le titre de *Traité de la Mécanique*. Cette brève lettre met en évidence « cette application d'une force qui agit par un grand espace à un poids qu'elle fait lever par un moindre », principe unique et fondamental. Quant

aux six engins habituels, il précise que « si on ne veut point les rapporter les uns aux autres, on en peut nombrer davantage ; et si on les y veut rapporter, on n'a pas besoin d'en mettre tant. »

En 1687, Pierre Varignon (1654-1722) publie son projet d'une *Nouvelle mécanique*, que suivra sa *Nouvelle mécanique ou Statique* en 1725. Le sous-titre est significatif : il entend les traiter géométriquement, c'est-à-dire à l'état d'équilibre, « en les supposant ou imaginant d'abord sans pesanteur, sans résistance de frottement ». Aux six machines « élémentaires », il y ajoute le funiculaire « en ce qu'elle est aussi indépendante de celles-là qu'elles le sont entre elles ». C'est même à partir de cette dernière qu'il établit le principe de la composition des forces, dont il se sert ensuite pour toutes les autres machines. Il poursuit en citant la lettre de Jean Bernoulli (1667-1748) qui énonce « le principe des vitesses virtuelles » (1717) pour les machines idéales : « En tout équilibre de forces quelconques, en quelque manière qu'elles soient appliquées, et suivant quelque direction qu'elles agissent les unes sur les autres, ou médiatement ou immédiatement, la somme des énergies sera égale à la somme des Énergies négatives prises affirmativement. » Varignon en prouve alors la véracité en reprenant une par une toutes les machines préalablement étudiées. Mais il s'en tient pourtant à sa propre construction de la Statique, qui préfigure les exposés didactiques à venir, basée sur les méthodes vectorielles.

Cette œuvre est novatrice. Il n'est qu'à la comparer avec celle de Philippe

de la Hire (1640-1716) qui écrit en 1695 son *Traité de mécanique* : « *C'est aussi en suivant les Anciens que nous établissons ordinairement cinq puissances ou machines principales qui servent à mouvoir les fardeaux [...]. Nous examinerons chacune de ces puissances ou machines en particulier en faisant voir comment elles se peuvent toutes se rapporter au levier dont nous traiterons d'abord.* » À la même époque Antoine Parent (1666-1716) propose une autre analyse dans ses *Éléments de mécanique et de physique* publiés en 1700 : « *Pour faire maintenant quelque application des principes précédents aux machines fondamentales, on considérera premièrement que toutes les machines imaginables sont composées de lignes droites et de plans solides ; c'est pourquoi on les rappelle toutes aux leviers où les moments et aux plans inclinés où les forces composées se trouvent plus naturellement ; quoique les unes ne puissent avoir lieu sans les autres.* »

Malgré des variantes cette démarche, avec sa terminologie propre, se répand tout le long de la seconde moitié du XIX^e siècle par l'intermédiaire des divers manuels rédigés par les examinateurs des écoles militaires (génie, artillerie, marine) : Charles Étienne Louis Camus (1699-1768), Charles Bossut (1730-1814) et Étienne Bézout (1730-1783). L'enseignement de la Mécanique, branche des mathématiques, fait toujours suivre les lois de la Statique de leur « application à l'équilibre des machines simples », abordées l'une après l'autre. La problématique s'élargit et devient un système, qui est diffusé grâce à l'*Encyclopédie*. C'est

ainsi que Jean Rond D'Alembert (1717-1783) rédige en 1765 un article où il précise que « *les puissances mécaniques, appelées plus proprement forces mouvantes, sont les six machines simples auxquelles toutes les autres, quelque composées qu'elles soient, peuvent se réduire, par l'assemblage desquelles toutes les autres sont composées.* » Affirmation de principe, et non par d'ordre pragmatique, de la généralité des axiomes fondamentaux de la Mécanique.

En 1778, puis à nouveau en 1789, Lazare Carnot (1753-1823) soumet à l'Académie des *Mémoires sur la théorie des machines*, qui sont bien peu marquées à l'époque. Il y affirme que « *Les cordes et le levier sont les seules machines vraiment simples ; encore peut on ramener assez facilement l'une à l'autre, mais on donne ordinairement le nom de simples aux sept machines suivantes [...].* » Puis, de la composition des forces et de l'expression des moments, il parvient à montrer comment on peut réduire à un même principe la science de toutes les machines. « *Or, malgré la différence des machines, toutes leurs propriétés sont en quelque sorte comprises dans une même loi fort simple, et de laquelle on déduit avec une grande facilité tout ce qui les concerne chacune en particulier.* » Son analyse se fonde sur les déplacements virtuels compatibles avec les liaisons – ce qui va bien au-delà de l'énoncé de Bernoulli. Publiée en 1763 sous le titre *Essai des machines en général*, elle sera développée en 1893 sous celui de *Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement*.

Mais c'est à Louis Lagrange (1736-

1813) qu'il revient de marquer l'aboutissement de cette construction, lorsqu'il publie sa *Mécanique analytique* en 1788 : « *La Statique repose sur le seul principe des travaux virtuels, et la Dynamique s'en déduit par le principe de d'Alembert. Ceux qui jusqu'à présent ont écrit sur le principe des vitesses virtuelles se sont plutôt attachés à démontrer la vérité de ce principe par la conformité de ses résultats avec ceux des principes ordinaires de la Statique, qu'à montrer l'usage qu'on peut en faire pour résoudre directement les problèmes de cette Science.* » Dans la seconde édition, en 1811, il précise ce qu'on avait pu apercevoir dès les premiers pas que l'on a fait après Archimède, dans la théorie des machines simples, reprenant ainsi cette expression à son compte. Mais il juge aussi nécessaire de préciser : « *Quant à la nature du principe des vitesses virtuelles, il faut convenir qu'il n'est pas assez évident par lui-même pour pouvoir être érigé en principe primitif ; mais on peut le regarder comme l'expression générale des lois de l'équilibre, déduites des deux principes* », du levier et de la composition des forces.

Enseignement de la mécanique dans la France des XIX^e et XX^e siècles

En 1786, Gaspard Monge (1746-1818), alors examinateur de la Marine, publie un *Traité élémentaire de Statique* dans lequel il précise : « *Quoique le nombre des machines soit très grand, on peut les regarder toutes comme composées de trois machines simples, qui sont les cordes, le levier et le plan incliné : nous nous contenterons d'exposer la théorie de ces trois machines, et de celles*

qui en sont immédiatement dérivées ; il sera facile ensuite, par des exemples d'applications, de trouver le rapport de la puissance à la résistance pour le cas de l'équilibre dans toute la machine, quelque compliquée qu'elle soit. » Introduisant d'abord les deux principes fondamentaux, Monge fait un choix raisonné de problèmes types qu'il appelle « machines simples » de la Statique (somme et moment). Et pour chacun d'entre eux, il introduit – en le vérifiant – le principe des travaux virtuels. Ainsi construit-il un ouvrage d'enseignement, qui sera réédité sept fois jusqu'en 1846.

Louis Poinsot (1777-1859), publie un ouvrage qui concurrence l'ouvrage de Monge dans les classes préparatoires, et qui connaîtra douze éditions de 1803 à 1877. Dans ses *Éléments de Statique*, il propose une autre construction pédagogique basée sur une définition générale : « *Les machines ne sont autre chose que des corps ou systèmes gênés dans leurs mouvements par des obstacles quelconques.* » Aussi réduit-il « *les machines simples à trois principales, que l'on peut considérer, si l'on veut, dans l'ordre suivant, eu égard à la nature de l'obstacle qui gêne le mouvement du corps* » : le levier, le tour et le plan incliné. « *Dans la première machine, l'obstacle est un point fixe autour duquel le corps a la liberté de tourner en tous sens. Dans la seconde, l'obstacle est une droite fixe autour de laquelle tous les points du corps n'ont que la liberté de tourner dans les plans parallèles entre eux. Dans la troisième, il a la liberté de glisser.* » Par cette analyse, il met en place une typologie basée sur la

géométrie de liaisons (point-droite-plan), et ceci sans préfigurer les développements à venir de la Cinématique. Il s'en tient toujours au domaine de la Statique et renouvelle la notion de machines simples, en même temps qu'il en prépare la fin.

Il n'est pas toujours suivi. A la même époque Charles Dupin (1784-1873) s'en tient à la traditionnelle liste des sept machines simples dans son cours du Conservatoire, publié en 1825-1826 sous le titre *Géométrie et mécanique des arts et métiers et des beaux-arts*. Par contre, Hyppolite Sonnet (1803-1879), professeur à l'École centrale, reprend les termes mêmes de Poinsot dans le *Dictionnaire des mathématiques appliquées* qu'il fait paraître en 1867, ajoutant cependant : « *on étend ordinairement le nom de machines simples à quelques autres machines qui s'y rattachent ou en dérivent* », ce qui enlève sa raison d'être à la classification, indépendamment de son intérêt pédagogique. Les *Encyclopédies pratiques* de Quillet de la première moitié du XX^e siècle s'en tiendront aussi à cette présentation des machines simples en trois genres jusqu'à l'édition de 1973-1974, complètement remaniée.

La notion de machine simple perd de son importance dans le cours de mécanique appliquée aux machines, lithographié à Metz en 1826 et publié à Paris en 1874. Jean Victor Poncelet (1788-1867), qui enseigne à l'école d'application du génie et de l'Artillerie, y parle de l'établissement de machines en général : on considère séparément chaque pièce distincte et mobile du système comme une « *machine simple, soumise elle-même à*

une puissance et à des résistances qui se font équilibre à tous les instants, ou dont la somme des travaux élémentaires est constamment égale à zéro ». La référence au principe de conservation du travail est maintenant explicite, dans toute sa généralité. Pourtant, deux pages plus loin, l'auteur se plie à l'usage en citant « *les poulies, les différents tours ou treuils, le plan incliné, la vis, etc., qui constituent ce qu'on nomme proprement les machines simples* ».

Le programme du concours d'admission à l'École polytechnique, publié en 1800, comporte « *des mathématiques et les éléments de statique, avec les applications aux cinq machines simples* » (mais le nombre disparaît dès l'année suivante). Malgré quelques modifications dans la formulation et, après 1850, les réformes qui introduisent la cinématique et la dynamique, les machines simples – dont une liste explicite est donnée en 1810 – resteront dans les classes préparatoires jusqu'en 1956 (à l'exception de courtes périodes vers la fin du siècle). À partir de 1844, on précise qu'il faut « *en conclure l'égalité entre le travail moteur et le travail résistant* ». En 1853, on insiste : « *ce que l'on gagne en force, on le perd en temps ou en chemin* ». Et en 1904, à la suite de la réforme qui fonde l'enseignement scientifique moderne dans les lycées, le programme de la classe de mathématiques spéciales se termine par la recommandation suivante : « *Vérifier sur chacune de ces machines, que, pour un déplacement élémentaire à partir d'une position d'équilibre, la somme algébrique des travaux élémentaires de la puissance*

et de la résistance est nulle, si l'on fait abstraction du frottement. » Paul Appel (1855-1930), au nom de la commission interministérielle dite des Grandes écoles, commente : « *Pour appliquer les règles de la statique à des exemples pratiques, on a demandé l'équilibre de quelques machines simples qu'il faudrait montrer aux élèves et faire fonctionner devant eux. On a cherché à les pénétrer de cette notion fondamentale qu'on ne peut pas créer du travail en leur demandant de vérifier sur chaque machine simple...* »

La statique est donc toujours suivie de ses applications, qui se ramènent aux machines les plus simples, les plus courantes, les plus utiles ou les plus pédagogiques. Ces études de cas doivent permettre d'introduire la notion de travail mécanique – concept qui s'est beaucoup clarifié depuis Monge – comme on a pu le voir chez Poncelet. Quant au principe des travaux virtuels, il est définitivement repoussé au cycle supérieur.

Cette manière d'aborder la Mécanique est sensiblement la même dans l'enseignement secondaire, comme dans l'enseignement technique. Mais rares sont les manuels qui pour définir les « machines simples » n'utilisent pas la définition de Poinsot, même si l'approche de Poncelet les influence parfois. Progressivement, et d'autant plus facilement qu'il s'agit d'un enseignement de niveau supérieur, les auteurs s'affranchiront de ce terme, en ce contentant de son acception courante, voire en s'abstenant de l'employer. Mais la description des « *trois machines simples* » restera longtemps en vigueur en s'appuyant sur le type de la liaison

au bâti, sans pour autant dissocier explicitement les finalités didactiques de ces études particulières d'une hypothétique théorie de la constitution des machines. Quant à la « machine simple » proprement dite, « *elle n'est formée que d'un corps solide* », à moins qu'elle ne soit composée « *d'un petit nombre d'éléments* », comme on peut le lire en 1995 dans un ouvrage à nouveau réédité. Pourtant, autour des années 1960, l'accent est mis sur la conservation (ou la non-conservation) de l'énergie mécanique, les machines simples ont été graduellement supprimées de tous les programmes de l'enseignement secondaire. Quant à l'*Encyclopedia Universalis*, l'article « machines simples » en disparaît dans sa réédition en 1996.

Réminiscence d'une collection ou fondations d'une discipline

La situation actuelle peut paraître contradictoire. La notion de machine simple a disparu du vocabulaire des enseignants – voire de leur mémoire – et n'est plus jamais associée à l'énoncé des puissances virtuelles tel qu'il est exposé dans l'enseignement supérieur. Par contre l'expression de « théorie des machines simples » est couramment utilisée par tous les historiens des sciences et des techniques, et renvoie indubitablement à l'émergence du « principe des vitesses virtuelles », quelle qu'en soit la formulation adoptée par ailleurs.

En effet, René Dugas (1897-1957) précise que « *toute l'histoire de la mécanique [...] commence à Aristote ou, d'une façon plus précise à l'auteur du traité probablement apocryphe qui s'intitule Questions mécaniques et qui, en*

fait, est ouvrage de mécanique pratique consacré à l'étude des machines simples » (Histoire de la Mécanique, 1950). Henri Bouasse (1866-1953) rappelle que « *Galilée et Descartes démontrent les lois des machines simples et trouvent leur explication dans la proposition du travail virtuel : ils admettent pour une machine quelconque et en font un principe, qu'on justifie sur tous les cas particuliers* » (Introduction à l'étude des théories de la mécanique, 1895). Émile Jouguet (1871-1943) : « *En résumé, le principe du travail virtuel a été d'abord perçu dans des cas simples. Peu à peu sa généralité s'est manifestée ; d'où l'idée de le prendre comme principe primitif de la Statique [...]. Mais il faut convenir que ces énoncés généraux, s'ils sont plus féconds, deviennent aussi moins évidents, en ce sens qu'ils les éloignent davantage de notre expérience journalière* ». C'est pourquoi « *il ne faut pas s'étonner si l'on a jugé utile au XVI^e siècle de justifier par une autre voie les lois des machines simples* » (Lectures de Mécanique, 1924). Ainsi, comme l'explique Pierre Duhem (1861-1916), « *la Statique a mis à l'origine de ses déductions tantôt le principe du levier, tantôt la loi de composition des forces ; tous ces principes sont équivalents entre eux, et leur équivalence résulte de ce fait qu'ils découlent tous immédiatement du principe des déplacements virtuels* » (Les origines de la Statique, 1905-1906).

cipes généraux, et que possède par la suite le principe des déplacements virtuels, consiste en ce qu'il nous épargne en grande partie la peine de réfléchir sur chaque cas particulier nouveau. En possession de ce dernier principe, nous pourrions par exemple laisser tout à fait de côté le détail du mécanisme d'une machine [...]. Un principe général, tel celui-ci, a donc une valeur incontestable d'économie » (La mécanique. Exposé historique et critique de son développement, 1904).

Or, et cette citation de Ernst Mach (1838-1916) nous permettra de conclure, « *un avantage qu'il ne faut pas perdre de vue, qui est commun à tous les prin-*