



HAL
open science

Quelles machines pour quels animaux? Jacques Rohault, Claude Perrault, Giovanni Alfonso Borelli

Sophie Roux

► **To cite this version:**

Sophie Roux. Quelles machines pour quels animaux? Jacques Rohault, Claude Perrault, Giovanni Alfonso Borelli. L'automate. Machine, métaphore, modèle, merveille, Presses universitaires de Bordeaux, pp.69-113, 2012. halshs-00807060

HAL Id: halshs-00807060

<https://shs.hal.science/halshs-00807060>

Submitted on 2 Apr 2013

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.

Quelles machines pour quels animaux ?

Jacques Rohault, Claude Perrault, Giovanni Alfonso Borelli

(Sophie Roux)

Introduction

La question générale et à première vue abstraite qui constitue le point de départ de cet article est la suivante : étant donné la grande flexibilité des explications dites mécaniques, pourquoi de très nombreux philosophes naturels ont-ils éprouvé la nécessité de recourir à des machines, en particulier lorsqu'ils analysaient les animaux ? Pour comprendre cette question, il faut expliciter ce qui est entendu par « explication mécanique » quand on parle de la philosophie naturelle du XVII^e siècle et en quoi les explications mécaniques peuvent être dites « flexibles »¹.

On entend en général par « explication mécanique » d'un phénomène une explication structurelle selon laquelle ce phénomène résulte d'un agencement de corpuscules matériels qui se meuvent selon des lois déterminées. Ainsi, une explication mécanique de la couleur bleue de cette chaise pourra consister à dire que cette chaise étant composée de petits corpuscules d'une forme donnée, des corpuscules lumineux qui la frappent rebondissent selon une loi donnée de la réflexion, qu'ils en viennent ainsi à toucher l'œil d'un organisme sentant, et que la constitution de ce dernier est telle qu'il voit du bleu lorsque son œil reçoit telle espèce de corpuscules animés de telle espèce de mouvement. Les deux éléments caractéristiques de cette explication sont qu'il existe des corpuscules et qu'ils se meuvent selon certaines lois de la nature.

L'histoire des sciences de ces vingt dernières années a cependant montré que les explications mécaniques, si elles ont bien obéi à certaines contraintes, en particulier par opposition aux analyses hylémorphiques de l'aristotélisme, n'en avaient pas moins été d'une grande flexibilité. La flexibilité s'entend tout d'abord en compréhension : les explications

¹ Les questions à l'origine de cet article ont été présentées lors du colloque « The Machine as Model and as Metaphor » qui s'est tenu au Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin, en novembre 2006 ; sur ce colloque, voir Sophie Roux, « À propos du colloque “The Machine as Model and Metaphor” », *Revue de synthèse*, vol. 130, n° 1, 2009, p. 165-175. Pour leurs remarques sur une première version, je remercie Domenico Bertoloni Meli et Christoph Lüthy.

mécaniques sont variables selon les lois du mouvement qu'on suppose et, surtout, selon les propriétés constitutives qu'on attribue aux corpuscules, l'ontologie cartésienne étant ici tout à fait radicale, dans la mesure où elle refuse aux corpuscules toute propriété qui ne serait pas une propriété de l'étendue². La flexibilité s'entend aussi en extension : les explications mécaniques peuvent par exemple avoir pour objet seulement le fonctionnement des phénomènes naturels, ou bien aussi de surcroît leur genèse et leur constitution. A vrai dire, le domaine de ces explications mécaniques est si ouvert qu'il n'y a pour ainsi dire pas de phénomène qui n'ait été un jour ou l'autre l'objet d'une explication de ce genre, y compris lorsqu'il s'agissait de phénomènes surnaturels, comme la transsubstantiation, ou bien de phénomènes que nous qualifierions de paranormaux, comme l'influence des astres³.

Lorsque ses lectures l'auront convaincue de la flexibilité des explications mécaniques, celle qui travaille sur les textes de philosophie naturelle du XVII^e siècle en viendra assez naturellement à poser la question énoncée pour commencer, autrement dit à se demander pourquoi il y eut, en plus des explications mécaniques ou à côté d'elles, des explications qu'on pourrait appeler « machiniques », c'est-à-dire des explications faisant intervenir non pas des corpuscules, mais des machines.

Machines et explications machiniques

Le principe général de la réponse à cette question peut paraître simple : les explications en termes de machines constituent une sorte d'intermédiaire entre les phénomènes naturels et leurs explications en termes de corpuscules. Pour faire une comparaison, un biologiste faisant

² Bernard Lamy, *Sur la philosophie*, in *Entretiens sur les sciences*, éd. F. Girbal et P. Clair, Paris, PUF, 1966, p. 256-257, fait de l'existence de lois de la nature le critère permettant de distinguer les atomistes anciens et les philosophes naturels modernes. Dans une littérature secondaire abondante, sur la diversité des corpuscules intervenant dans les explications mécaniques, voir John Henry, « Occult Qualities and the Experimental Philosophy: Active Principles » in « Pre-Newtonian Matter Theory », *History of Science*, 24, 1986, p. 335-381 ; John Henry, « Robert Hooke, the Incongruous Mechanist », in Michael Hunter et Simon Schaffer (dir.), *Robert Hooke. New Studies*, Woodbridge, Boydell Press, 1989 ; Antonio Clericuzio, *Elements, Principles and Corpuscles: a Study of Atomism and Chemistry in the Seventeenth Century*, Dordrecht, Kluwer, 2000 ; Hiro Hirai, *Le Concept de semence dans les théories de la matière à la Renaissance : de Marsile Ficin à Pierre Gassendi*, Turnhout, Brepols, 2005.

³ L'ouvrage de référence sur la transsubstantiation reste celui de Jean-Robert Armogathe, *Theologia cartesiana. L'explication physique de l'Eucharistie chez Descartes et Dom Robert Desgabets*, La Haye, Nijhoff, 1977 ; mais voir également Pietro Redondi, *Galilée hérétique*, trad. fr. M. Aymard, Paris, Gallimard, 1985, et l'introduction d'Antonella Del Prete aux *Explications sur le mystère de l'Eucharistie suivant les principes de la philosophie de Descartes, La lettre clandestine*, 10, 2001, p. 226-260. Pour des explications mécaniques de phénomènes paranormaux, voir par ex. Claude Gadoys, *Discours sur les influences des astres selon les principes de M. Descartes*, Paris, J.-B. Coignard, 1671.

Intervenir des mitochondries pour expliquer le bilan énergétique d'une cellule n'exclut pas qu'un collègue chimiste soit capable d'expliquer les mitochondries en termes moléculaires, mais il considère qu'il explique correctement certaines caractéristiques du fonctionnement d'une cellule en faisant intervenir les entités que sont les mitochondries. De la même façon, un philosophe naturel du XVII^e siècle faisant intervenir des machines pour expliquer certains phénomènes naturels n'excluerait pas qu'ils puissent être expliqués mécaniquement, mais il estimerait avoir progressé dans la compréhension de ces phénomènes lorsqu'il les a comparés à une machine.

Plus exactement, on pourra se dire que les explications machiniques ne recouvrent que partiellement les explications mécaniques et qu'elles ne sont pas soumises aux mêmes espèces de contraintes. Contrairement aux explications mécaniques du XVII^e siècle, les explications machiniques n'exigent pas qu'on s'engage dans une entreprise de réduction ontologique, à la fois « horizontale » (il existe un petit nombre de lois du mouvement qui sont universelles) et « verticale » (il existe un petit nombre de propriétés de la matière, auxquelles toutes les autres propriétés peuvent être réduites)⁴. Pour illustrer la chose d'un exemple, dire que le cœur d'un animal fonctionne comme une pompe, son œil comme une *camera obscura*, et son foie comme un crible, c'est suggérer des explications machiniques de ces phénomènes : mais, pour faire de ces dernières des explications mécaniques, il faut être en possession d'une théorie de la matière et d'un ensemble de lois de la nature et être capable de montrer qu'une pompe, une *camera obscura* et un crible peuvent *effectivement* se réduire à des corpuscules de la matière en question se mouvant selon les lois en question. À ce point, les explications machiniques semblent présenter plus de degrés de liberté que les explications mécaniques. Mais elles ne sont évidemment pas dépourvues de toute contrainte, et sont à certains égards plus contraignantes que les explications mécaniques. En effet, les machines, les artifices et les techniques effectivement disponibles à une époque donnée contribuent à délimiter les frontières de l'ensemble des phénomènes explicables,

⁴ Sur la spécificité des explications « machiniques », voir, dans des contextes argumentatifs sensiblement différents : Georges Canguilhem, « Machine et organisme » (1952), in *La connaissance de la vie*, Paris, Vrin, 1992, p. 102-104 ; Michael Polanyi, *The Tacit Dimension*, New York, Anchor Books, 1967, p. 38-46. Il n'est pas étonnant que Nancy Cartwright, *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1999, après avoir contesté l'idée de loi de la nature (avec des arguments d'une grande faiblesse, mais c'est une autre histoire), en soit venue à avancer le substitut notionnel de « machine nomologique ». Dennis Des Chene « Mechanisms of Life in the Seventeenth Century: Borelli, Perrault, Régis », *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 36, 2005, p. 245-260 (ici p. 246, p. 249-251, p. 258-259), et Sylvia Berryman, « Galen and the Mechanical Philosophy », *Apeiron. A Journal for Ancient Philosophy and Science*, 35, 2002, p. 235-253 (ici p. 237-238 et p. 250-251), ainsi que, de la même, « Ancient Automata and Mechanical Explanation », *Phronesis*, vol. 118, n° 4, 2003, p. 344-369 (ici p. 344-347), notent que l'utilisation d'idées et de méthodes venues de la mécanique n'implique ni un engagement ontologique en matière de philosophie naturelle, ni la thèse que les organismes sont des machines.

alors que, on l'a rappelé pour commencer, à peu près tout semble explicable avec des corpuscules et des lois du mouvement. Pour illustrer là encore la chose d'un exemple, on peut se dire que les auteurs proposant des explications mécaniques de la transsubstantiation auraient été bien embarrassés qu'on exigeât d'eux une explication machinique, autrement dit qu'on leur demanda d'indiquer ne serait-ce que la possibilité de construire une machine produisant des phénomènes analogues à la transsubstantiation⁵.

Néanmoins, une fois distingué explication mécanique et explication machinique, il reste qu'on aimerait avoir une détermination plus précise de ce qu'est une explication machinique. Mais cela n'est pas sans problème, comme on peut s'en convaincre en revenant à la comparaison esquissée pour commencer entre le biologiste d'aujourd'hui et le philosophe mécanique du XVII^e siècle⁶. Cette comparaison ne peut, en effet, masquer les deux différences qui existent entre l'un et l'autre.

La première différence est que le biologiste a aujourd'hui de bonnes raisons de penser que des mitochondries existent dans la nature, alors que le philosophe mécanique du XVII^e siècle affirme souvent que les phénomènes auxquels il a affaire sont comme des machines, ou plus exactement encore a l'idée qu'ils fonctionnent comme des machines. C'est à ce « comme » que correspond l'idée que les machines constituent ce qu'on appelle parfois des modèles : elles servent à expliquer les phénomènes naturels, elles se conforment aux lois de la nature, puisque ces dernières sont universelles, mais, évidemment, elles ne sont pas les phénomènes naturels mêmes⁷ – au contraire, on y reviendra, il semble difficile de donner une description générique des machines sans faire intervenir l'artificialité. Cette sorte de distance entre la machine et le phénomène qu'elle est supposée expliquer pose évidemment la question de ce qui fait qu'on estime qu'une explication machinique d'un phénomène est préférable à une autre. Il n'est pas sûr qu'on puisse donner de réponse à cette question sans aller y voir au cas par cas, mais, à première vue, on se dit que cela va dépendre à la fois des contraintes générales posées, dans un système

⁵ C'est l'hypothèse présentée et exploitée par S. Berryman, « Ancient Automata », p. 346-350 et p. 360-366, à propos des textes de l'Antiquité, en particulier hellénistique, mais elle vaut bien sûr plus généralement.

⁶ Dans ce qui suit, je désigne par « philosophe mécanique » celui qui introduit des explications mécaniques en philosophie naturelle ; pour les raisons de ce choix, voir Sophie Roux, *La Philosophie mécanique*, thèse de doctorat non publiée, Paris, EHESS, 1996, Introduction générale, p. 19-29.

⁷ Voir en ce sens Descartes, *Principia philosophiae*, IV-203, in *Œuvres de Descartes*, éd. C. Adam et P. Tannery, nouvelle présentation par B. Rochot et P. Costabel, 11 vol., Paris, Vrin, 1964-1974 (désormais AT), VIII-1, p. 326, souvent paraphrasé comme si la thèse était de dire qu'il n'y a pas de différence entre l'artificiel et le naturel, alors qu'il est écrit que l'artificiel est, avec cela, aussi naturel.

donné, sur la forme que doivent prendre des explications, et d'une sorte d'adéquation entre le phénomène à expliquer et la machine considérée.

La seconde différence entre la démarche du biologiste et la démarche du philosophe mécanique va nous mener à une question déterminante dans cet article. Elle est que les mitochondries sont des entités bien déterminées – on en connaît aujourd'hui l'allure, le fonctionnement, le génome –, alors que les machines constituent une catégorie assez vague au XVII^e siècle. Le dictionnaire de Furetière (1690) propose par exemple la définition suivante du terme « machine » :

Engin, assemblage de plusieurs pieces fait par l'art des Mechaniques, qui sert à augmenter la vertu des forces mouvantes. On donne le nom de *machine* en general à tout ce qui n'a de mouvement que par l'artifice des hommes, comme les scènes et les theatres mobiles, les chars, les nues, les vaisseaux, et aussi ce qui sert aux hommes pour faire des choses qui sont au-dessus de leurs forces, comme les vols, les descentes, etc. Les Anciens avoient une infinité de *machines* de guerre, des beliers, des balistes, des catapultes, onagres & scorpions, & autres pour battre muraille, lancer des traits et des pierres [...]. Il faut remarquer qu'on appelle proprement *machine*, ce qui consiste plus en art & en invention que dans la force & solidité de la matiere. C'est pourquoy les inventeurs des *machines* ont esté appelez Ingenieurs.

Dans la suite de cette entrée, des sens plus particuliers sont signalés, de sorte qu'une machine peut être aussi bien une vis qu'un jet d'eau, une horloge qu'un attelage de carrosse, une pièce d'artillerie que le système de deux cent cinquante-neuf pompes utilisé pour élever l'eau de la Seine jusqu'aux fontaines de Marly et de Versailles, une ruse inventée par tromperie que les machineries qui servirent à la représentation de *Psyché* dans la salle du Palais des Tuileries⁸.

Ma citation favorite dans ce contexte vient du traité *De la connaissance des bons livres* (1671) de Charles Sorel, généralement connu en tant qu'auteur de *l'Histoire comique de Francion*. Sorel remarque qu'on en était venu de son temps à faire du mot « machine » une sorte de « je ne sais quoi » susceptible de désigner toutes les choses pour lesquelles on n'avait pas de terme adéquat, comme le fait aujourd'hui notre « machin » :

Nous voyons que cela nous a fait grand plaisir d'avoir de ces mots à la mode, parce qu'il s'en trouve même qui tous seuls signifient tout ce qu'on veut. Il y a quantité de Gens qui lors qu'ils ne peuvent exprimer quelque chose par un mot propre, usent du mot de Machine, ils disent, Il

⁸ Sur la plurivocité du terme « machine » au XVII^e siècle, voir déjà Gérard Simon, « Les machines au XVII^e siècle : usage, typologie, résonances symboliques », *Revue des sciences humaines*, 186-187, 1982-1983, p. 9-31 (ici p. 10-12). L'usage de ce terme jusqu'au début du XVIII^e siècle a été l'objet d'un colloque récent : voir Marco Veneziani (dir.), *Machina. XI Colloquio Internazionale (Roma, 8-10 gennaio 2004)*, Firenze, Olschki, 2005.

faut faire des machines pour cela, & que ce sont là des Machines. Les autres se servent par tout du mot d’Affaire ; Ils signifient par là toutes les choses dont ils ne peuvent trouver le nom [...]. Tout cela est Affaire ou Machine⁹.

De fait, tous ceux qui ont fréquenté les textes du XVII^e siècle se seront confrontés à un déferlement de machines tel qu’ils en auront peut-être été pris de vertige. Il n’est, en général, pas très plaisant d’être pris de vertige. Une solution pour échapper à ce désagrément consiste à éviter tout ce qui peut provoquer cet état, c’est-à-dire ici à s’intéresser seulement aux machines qui correspondent à une idée prédéterminée de ce que doit être une machine du XVII^e siècle et, conséquemment, à négliger tout le reste.

On l’aura deviné : cette solution, quelque efficace qu’elle soit, est un peu trop facile.

Aussi, une fois laissé de côté le fait que le terme « machine » vaut souvent pour machination, ruse, artifice et stratagème, se frayera-t-on plutôt un chemin entre les mots et les choses en ajoutant à la distinction entre explication mécanique et explication machinique une distinction entre différentes espèces de machines. Dans un article pionnier, Gérard Simon avait proposé une typologie des machines du XVII^e siècle selon ce qu’il appelait leur « imaginaire constitutif », c’est-à-dire l’imaginaire qui est à l’œuvre lorsque des machines sont mobilisées pour appréhender le réel, y compris dans des entreprises théoriques comme la philosophie ou les sciences. Il distinguait ainsi trois grandes catégories de machines, celles qui transforment mécaniquement des forces naturelles préexistantes, celles qui exploitent des énergies physiques ou chimiques artificiellement créées, enfin celles qui, comme les horloges et les automates, sont susceptibles de stocker une certaine énergie qu’elles restitueront ensuite selon un programme déterminé : et de montrer, ensuite, que les imaginaires constitutifs correspondant à chacune de ces catégories de machines ne furent pas identiques¹⁰. Dans le même esprit et finalement sans divergence majeure avec la classification proposée par Gérard Simon, il me semble que, pour clarifier le fonctionnement des explications machiniques, il convient de donner une description générique de la machine et de distinguer trois espèces de machines qui se trouvaient avoir au XVII^e siècle des traits spécifiques.

⁹ C. Sorel, *De la connaissance des bons livres ou examen de plusieurs auteurs*, éd. Hervé D. Béchade, Genève-Paris, Slatkine, 1981, traité IV, chap. IV, p. 422.

¹⁰ G. Simon, « Les machines au XVII^e siècle », *op. cit.*, p. 14-21.

La description générique de la machine consiste à dire qu'une machine est une structure artificielle¹¹. Pour élaborer minimalement les termes de cette description, on dira qu'une chose artificielle est faite en vue de certaines fins, autrement dit qu'une chose artificielle remplit une fonction, par exemple un lit est fait pour dormir¹². Mais, si un lit n'est pas une machine, c'est parce qu'il est trop simple, et c'est précisément un peu de complexité, ou du moins de compositionnalité, qui est introduite avec le terme « structure » : pour qu'il y ait machine, il faut qu'il y ait agencement, composition, disposition, arrangement ou conjonction d'une multiplicité de parties¹³. Ainsi, parce qu'ils sont complexes, un pont-levis ou un échafaudage sont des machines, une fois dit qu'ils remplissent effectivement certaines fonctions, pouvoir se protéger de l'ennemi sans se couper du monde, ou bien construire un édifice élevé. Cette description générique suffit à mettre en évidence une nouvelle différence entre explications mécaniques et explications machiniques. Contrairement aux premières, les secondes sont parfaitement conciliables avec certaines formes de finalisme, puisqu'elles impliquent la considération de la fonction ; elles ne procèdent pas en recherchant à tout prix des principes simples, mais exhibent au contraire des structures complexes. Déjà à ce point, on a de bonnes raisons de penser que les explications machiniques sont plus aptes à saisir les animaux que les explications mécaniques.

Dans la mesure où il s'agit d'une description générique adéquate, toutes les machines peuvent être décrites comme des structures artificielles. Il convient de surcroît, quand on s'intéresse au XVII^e siècle, de faire une place particulière à trois espèces de machines.

i) La première espèce est constituée par ce qu'on appelle depuis l'Antiquité les machines simples – par exemple le levier, la poulie, le plan incliné, le coin –, avec l'idée qu'il s'agit des dispositifs élémentaires dont sont composés toutes les autres machines. Ce n'est toutefois pas pour être simples qu'elles sont ici érigées en une espèce particulière, mais pour une raison parfaitement contingente, qui est qu'on avait montré qu'elles respectent toutes un même principe

¹¹ Dennis Des Chene, *Spirits and Clocks. Machine and Organism in Descartes*, Ithaca, NY, Cornell U.P., 2001, p. 78-79, propose une description générique similaire, mais il ajoute aux deux caractéristiques ici retenues que la machine doit être un instrument.

¹² La distinction de l'artificiel et du naturel est une distinction de sens commun : sur l'impossibilité à en faire une distinction essentielle, voir, outre l'article de Jean-Yves Goffi dans ce volume, Eric Margolis et Stephen Laurence (dir.), *Creations of the Mind. Theories of Artifacts and their Representations*, Oxford, Oxford U.P., 2007.

¹³ La compositionnalité de la machine apparaît exemplairement dans la manière dont Vitruve, bien connu et abondamment commenté depuis le XVI^e siècle, définit la machine et la distingue de l'instrument : voir *De l'architecture. Livre X*, éd., trad. fr. et comm. par L. Callebat, Paris, Les Belles Lettres, 2003, 1.1. et 1.3, p. 4-5. Pour une présentation de ces passages et une analyse de leur réappropriation à la Renaissance, voir Marcus Popplow, « Setting the World Machine in Motion: The Meaning of *Machina Mundi* in the Middle Ages and the Early Modern Period », in Massimo Bucciantini, Michele Camerota et Sophie Roux (dir.), *Mechanics and Cosmology in the Medieval and Early Modern Period*, Firenze, Olschki, 2007, p. 45-70, ici p. 49-53 et p. 57-60.

physique, formulé un peu différemment chez différents auteurs. Pour ne mentionner que les plus éminents, chez Galilée, il s'agit d'un principe de compensation selon lequel on ne peut pas gagner en force sans perdre en distance, en temps ou en vitesse ; chez Descartes, d'un principe d'équivalence selon lequel c'est la même chose de lever un certain poids à une certaine hauteur et de lever, par exemple, un poids deux fois plus grand à une hauteur deux fois plus petite.

ii) La deuxième espèce de machines est constituée par des dispositifs en mouvement, capables de fonctionner, voire de remplir une certaine fonction ou d'accomplir un certain travail, par exemple les systèmes d'engrenages, les moulins ou les horloges. Ces machines cinématiques constituent une espèce particulière parce que, une fois qu'elles sont en mouvement, elles donnent à voir une unité qui n'apparaît pas dans toute machine : dans les machines cinématiques, une pièce se meut pour en mouvoir une autre et le mouvement de l'ensemble est tel que, périodiquement, la disposition antérieure des parties les unes par rapport aux autres est rétablie. On n'a pas encore la théorie de ces machines, si l'on entend par là le fait de les mettre explicitement en équation, mais on est convaincu que leur fonctionnement doit pouvoir se comprendre par ce qu'on en voit, à savoir la transmission du mouvement d'une partie de la machine à une autre, et on suppose par ailleurs que cette transmission obéit à certaines lois qu'on connaîtra tôt ou tard¹⁴.

iii) La troisième et dernière espèce de machines est constituée par les dispositifs artificiels qui permettent à des processus encore mal compris et parfois mal identifiés de se produire : ainsi en est-il par exemple des automates pneumatiques empruntés à la tradition alexandrine, des armes à feu dont les effets sont sans commune mesure avec l'impulsion qui les cause, ou bien de certaines machines mettant en œuvre des réactions chimiques, fermentation, solution, précipitation, ébullition. Pas plus que des précédentes, on n'a la théorie de ce qu'on appellera pour faire bref les machines physico-chimiques : de surcroît, leurs causes étant invisibles, on ne dispose pas pour rendre compte de leur fonctionnement de ce simulacre de théorie que peut être le fait de voir une partie de la machine se mettre en mouvement lorsqu'une autre la touche. C'est la raison pour laquelle on se demande assez naturellement ce que ces machines physico-chimiques ont encore de machinique, à quelles conditions une explication reposant sur une

¹⁴ Du point de vue de l'histoire terminologique, c'est seulement dans les textes d'ingénieurs du XVI^e siècle que les machines cinématiques ont été appelées « machines » précisément : voir Marcus Popplow, « Setting the World Machine », *op. cit.*, p. 48-60. D. Des Chene, *Spirits and Clocks*, *op. cit.*, p. 72-78, note qu'on ne voit pas la fonction d'une machine ni les mouvements de ses parties, mais cela vaut pour les machines représentées dans les *Théâtres de machines*, non des machines elles-mêmes.

comparaison avec l'une d'elles est acceptable, et, tout aussi bien, quel gain d'intelligibilité elle constitue.

Pour récapituler ce qui a été avancé à ce point, il s'agit dans cet article d'examiner la spécificité des explications machiniques, en particulier par opposition aux explications mécaniques ; à cet effet, on a distingué une description générique de la machine comme structure artificielle et trois idées plus spécifiques de machines, la machine simple, la machine cinématique et la machine physico-chimique. Avec cela, il n'est évidemment pas démontré que toutes les distinctions qu'on pourrait faire à propos des machines du XVII^e siècle soient épuisées, sans parler des machines en général. L'objectif de cet article n'est cependant pas de labourer tout le champ du dicible, mais, plus simplement, de montrer qu'introduire des distinctions entre espèces de machines peut permettre de mieux comprendre les explications machiniques. Et encore ne le fera-t-on pas en général, mais en privilégiant certains phénomènes et en se concentrant sur certains ouvrages.

Les explications machiniques sont particulièrement fréquentes lorsqu'il est question du monde en général ou des animaux en particulier : on privilégiera ici le cas des animaux. On tiendra à ce propos pour acquis d'une part la porosité, dans les langues gréco-latines et jusqu'au XVIII^e siècle, entre le vocabulaire de l'organique et celui du mécanique, et, d'autre part, l'utilisation constante de comparaisons entre organes animaux et instruments fabriqués par l'homme dans la littérature biologique et philosophique¹⁵. On remarquera de surcroît que la question des explications machiniques s'accompagne d'une autre question, pour ainsi dire en miroir de la première : la question des fonctions de l'âme ou des espèces d'âme qu'on attribue aux animaux. En effet, dans les textes du XVII^e siècle comme dans d'autres, l'âme semble à première vue être l'autre de la machine : elle intervient lorsque cette dernière, ayant produit ses effets, semble ne plus avoir une vertu explicative suffisante. Ainsi se demander ce qu'une espèce

¹⁵ Alfred Espinas, « L'organisation ou la machine vivante en Grèce au IV^e siècle avant J.-C. », *Revue de métaphysique et de morale*, 11, 1903, p. 703-715 ; G. Canguilhem, « Machine et organisme », *op. cit.*, p. 105-107 ; Judith Schlanger, *Les Métaphores de l'organisme* (1971), Paris, L'Harmattan, 1995, p. 49-51 ; Gabriele Baroncini, « Note sulla formazione del lessico della metafora "machina mundi" », *Nuncius. Annali di Storia della Scienza*, vol. 4, n° 21, 1989, p. 3-30 (ici p. 4-9) ; D. Des Chene, *Spirits and Clocks*, *op. cit.*, p. 13-14, p. 86 ; S. Berryman, « Galen », *op. cit.*, p. 240. *Passim*.

de machine explique, c'est, en tout cas dans un système théorique cohérent, dessiner en creux la place qu'une espèce d'âme viendra occuper¹⁶.

Quant aux trois ouvrages qu'on va maintenant étudier, les *Entretiens de philosophie* de Jacques Rohault (1672), le traité *De la mécanique des animaux* de Claude Perrault (1680), le *De Motu animalium* de Giovanni Alfonso Borelli (1680-1681), leur choix ne fut pas absolument contraint, mais il n'est pas sans raison. Borelli s'impose en tant que fondateur de ce qui est appelé au moins depuis la monumentale *Histoire des sciences médicales* de Charles Victor Daremberg, l'iatro-mécanisme¹⁷. Il est assez naturel de lui adjoindre Perrault qui, dans un contexte intellectuel et institutionnel différent, fut son contemporain et manifesta des intérêts similaires aux siens. Ainsi trouve-t-on, par exemple, un parallèle entre Borelli et Perrault dans la *Préface* que Jules Barthélémy-Saint Hilaire fit pour sa traduction du *Traité de la marche des animaux*¹⁸. Plus récemment, Dennis Des Chene inscrit Borelli et Perrault dans un triptyque, avec Régis pour troisième homme : étudiant un phénomène particulier, la contraction du muscle, il note chez ces trois auteurs un mécanisme méthodologique plutôt qu'ontologique, et estime que tous trois procèdent à une même division de travail entre étude du mouvement et étude de la source du mouvement¹⁹. Quant à Rohault, sur lequel on sera bref, il servira à illustrer, à titre liminaire, ce que nous appellerons la métaphore abstraite de l'horloge.

Les *Entretiens de philosophie* de Rohault : la métaphore abstraite de l'horloge

Dans le Paris des années 1660, Jacques Rohault (1618-1672) fut un des principaux champions du cartésianisme²⁰. Professeur de mathématiques et gendre de Claude Clerselier, qui était légataire des manuscrits de Descartes, il organisa pendant plus de dix ans des *Conférences* où, les témoignages l'indiquent, non content d'expliquer les phénomènes naturels selon les

¹⁶ Cette idée est systématiquement exploitée dans deux articles de Guido Giglioni, d'ailleurs également sensible à la question de la diversité des machines, à propos d'autres auteurs que ceux dont il sera ici question, voir « Automata Compared. Boyle, Leibniz and the Debate on the Notion of Life and Mind », *British Journal for the History of Philosophy*, vol. 3, n° 2, 1995, p. 249-278 et « The Machines of the Body and the Operations of the Soul », in Domenico Bertoloni Meli (dir.), *Marcello Malpighi Anatomist and Physician*, Firenze, Olschki, 1997, p. 149-174.

¹⁷ Charles Victor Daremberg, *Histoire des sciences médicales*, Paris, J.-B. Baillière, 1870, chap. 24-26, p. 735-953.

¹⁸ Jules Barthélémy-Saint Hilaire, *Traité des parties des animaux et de la marche des animaux*, 2 vol., Paris, Hachette, 1885, Préface au *Traité de la marche des animaux*, vol. II, p. 293-301.

¹⁹ D. Des Chene, « Mechanisms of Life », *op. cit.* Pour la distinction entre mécanisme méthodologique et ontologique, voir *supra*, note 4.

²⁰ Sur la vie et l'œuvre de Rohault, voir Pierre Clair, *Jacques Rohault (1618-1672). Bio-bibliographie. Avec l'édition critique des Entretiens sur la philosophie*, Paris, CNRS, 1978.

principes cartésiens, il faisait quantité d'expériences²¹. L'inventaire fait à sa mort répertorie un certain nombre d'instruments de physique expérimentale et la *Préface* de ses *Œuvres posthumes* le présente comme « un esprit tout à fait mécanique, fort propre à inventer & à imaginer toutes sortes d'arts et de machines, & avec cela des mains artistes et adroites, pour executer tout ce que son imagination lui pouvoit représenter » : il allait dans les boutiques, non seulement pour observer les instruments qu'on y fabriquait, mais pour prodiguer ses conseils aux ouvriers, voire pour leur montrer comment fabriquer de nouveaux instruments²². Ainsi se dit-on que, s'il y a un cartésien qui a eu les moyens de prendre si l'on peut dire littéralement la thèse des animaux-machines, ce doit être lui. Son œuvre écrite comprend trois ouvrages : le *Traité de physique* (1671) est un exposé systématique de physique cartésienne fondé sur les *Conférences* ; les *Entretiens de philosophie* (1672) se présente comme un dialogue où l'auteur défend, face à un adversaire non identifié, plusieurs thèses cartésiennes ; les *Œuvres posthumes* (1682), rassemblent des traités élémentaires de mathématiques, qui correspondent sans doute à l'enseignement de Rohault.

C'est dans le deuxième des *Entretiens de philosophie* qu'on rencontre la thèse des animaux-machines. Rohault affirme d'entrée de jeu qu'il s'agit de soutenir que « [...] les bestes n'agissent pas par connoissance, que ce ne sont que de pures machines, et qu'elles font tout ce que nous leur voyons faire avec aussi peu de sentiment qu'une horloge qui marque l'heure, et qui la sonne, par la seule disposition de ses rouës et de ses contrepois²³ ». La thèse que les animaux sont de pures machines, c'est donc la thèse que leurs actions peuvent s'expliquer sans leur attribuer de connaissance ou de sentiment, ce qui, dans un contexte cartésien, revient à leur attribuer une âme immatérielle. Rohault remarque qu'il pourrait, pour défendre cette thèse, évoquer « certains automates [...] qui represent[ent] fort artistement divers animaux, et qui en imit[ent] aussi plusieurs mouvemens », mais il déclare immédiatement leur préférer « une de nos horloges publiques » car son interlocuteur aura nécessairement vu une des horloges, mais pas forcément un automate²⁴. Comme c'était le cas chez Descartes, l'horloge est donc considérée comme un exemple d'automate, mais un exemple privilégié par rapport à d'autres parce qu'elle

²¹ Le déroulement des conférences de Rohault est exposé par Clerselier dans la *Préface* des *Œuvres posthumes*, Paris, Guillaume Desprez, 1682, n.p.

²² *Id.*

²³ *Deuxième entretien*, in P. Clair, *Jacques Rohault, op. cit.*, (désormais *Deuxième entretien*), p. 138. Descartes compare les animaux à des horloges, voir *Discours de la méthode*, in AT, VI, p. 50, p. 58 ; Descartes à Newcastle, 13 nov. 1646, in AT, IV, p. 575.

²⁴ *Deuxième entretien*, p. 140.

est plus accessible²⁵. Cette manière d'introduire l'horloge aussi bien que les compétences mécaniques de Rohault pourraient laisser attendre la description précise des parties d'une horloge et de son fonctionnement ; comme on va le voir en examinant l'argumentation de Rohault, il n'en est rien, et l'horloge constitue plutôt une métaphore abstraite ou une idée générale qui permet de court-circuiter aussi bien les thèses philosophiques que les machines réelles.

La première objection à la thèse que les animaux sont de pures machines est la diversité des actions animales ; la réponse de Rohault est sur ce point que, si une horloge composée de dix pièces peut indiquer les heures, alors un animal composé d'une grande diversité de pièces pourra faire toutes sortes d'actions²⁶. Cette réponse suppose qu'il y a seulement une différence de degré entre les machines fabriquées par les hommes et les machines fabriquées par Dieu, et non une différence de perfection (comme c'était le cas chez les aristotéliens) ou une différence de nature (comme ce sera par exemple le cas chez Leibniz qui, posant que les machines de la nature sont des machines de machines à l'infini, instaure entre celles-ci et les machines que nous fabriquons la différence de l'infini et du fini)²⁷. Qu'il y ait seulement une différence de degré entre les machines fabriquées par les hommes et les machines fabriquées par Dieu est une thèse explicite dans plusieurs passages de Descartes, mais il n'y a rien d'équivalent chez Rohault²⁸.

La seconde objection à la thèse que les animaux sont de pures machines est la « justesse » dont témoigneraient certaines actions animales : d'après les exemples qui sont donnés, l'objecteur semble viser par ce terme aussi bien des actions qui s'accomplissent précisément que des actions qui paraissent intentionnelles. La réponse de Rohault est qu'il existe un certain nombre de phénomènes naturels qui s'accomplissent précisément sans qu'on suppose qu'ils se font par quelque connaissance que ce soit (une pierre qui tend vers le centre de la terre, une boussole qui indique le nord, une girouette qui se place dans la direction du vent) et qu'« une horloge marque les heures, beaucoup plus justement que ne sauroit faire le plus sçavant homme

²⁵ L'horloge est souvent prise par Descartes comme exemple d'automate, lequel est défini comme une machine qui se meut spontanément, voir Descartes à Regius, juin 1642, in AT, III, p. 566 ; *Les Passions de l'âme*, I 6, in AT, XI, p. 331 ; *De l'homme*, in AT, XI, p. 202. Otto Mayr, *Authority, Liberty and Automatic Machinery in Early Modern Europe*, Baltimore-London, Johns Hopkins U.P., 1986, a magistralement étudié l'utilisation de cette métaphore du XVI^e au XVIII^e siècles. Sur l'utilisation de cette métaphore et sur le thème de l'automate chez Descartes, voir Geneviève Rodis-Lewis, « Limitations of the Mechanical Model in the Cartesian Conception of the Organism », in Michael Hooker (dir.), *Descartes: Critical and Interpretative Essays*, Baltimore-London, Johns Hopkins U.P., 1978, p. 152-170 ; D. Des Chene, *Spirits and Clocks*, *op. cit.*, p. 107-110. *Passim*.

²⁶ *Deuxième entretien*, p. 140-141.

²⁷ D. Des Chene, *Spirits and Clocks*, *op. cit.*, p. 96-97 et p. 101-102.

²⁸ *Discours de la méthode*, in AT, VI, p. 55-56 ; Descartes à Renéri, avril-mai 1638, in AT, II, p. 40-41 ; Descartes à Mersenne, 30 août 1640, in AT, III, p. 163-164 ; *Principia philosophiae*, IV 203, in AT, VIII-1, p. 326.

du monde »²⁹. Aux deux idées de justesse déjà signalées, Rohault semble donc en ajouter une troisième, la justesse comme régularité ou comme légalité ; de surcroît, il néglige le tour de force de Descartes consistant à placer le propre de l'action accomplie par connaissance non dans l'abstraction, la précision ou la régularité, mais dans l'à-propos³⁰.

Il y a deux autres occurrences fugitives de l'horloge dans le *Deuxième Entretien* : de même que les horloges ont besoin d'être remontées, les animaux ont besoin d'être nourris ; de même qu'une montre fonctionne grâce à un ressort, un animal agit grâce à son sang et ses esprits³¹. Le détail n'est pas très intéressant. Ce qui est frappant est plutôt la disparition des thèses philosophiques et l'effacement des machines réelles. Chez Descartes, la thèse des animaux-machines est indissociable de la définition de l'âme comme substance pensante, de l'affirmation de l'unité de la pensée et de la distinction réelle entre substance étendue et substance pensante et elle est plus généralement insérée dans un réseau dense de thèses : comme on vient de le voir, les thèses disparaissent chez Rohault. Les écrits de Descartes, y compris physiologiques, abondaient en comparaisons techniques et machiniques : l'imaginaire mécanique mis en œuvre par Rohault est extrêmement pauvre ; en le lisant, on ne sait rien du fonctionnement technique effectif d'une horloge du XVII^e siècle, ni d'ailleurs de la manière dont un animal quelconque accomplit la moindre de ses actions. La machine prégnante ici n'est en ce sens qu'une abstraction ou une idée générale, c'est l'horloge comme système visible d'engrenages capable d'indiquer l'heure avec précision à condition qu'elle soit remontée de temps à autre.

Parler de métaphore abstraite et d'idée générale, ce n'est pas dire qu'il s'agisse d'une mauvaise métaphore ou d'une mauvaise idée absolument. Au contraire, considérée en tant que métaphore abstraite ou en tant qu'idée générale, l'horloge est plus adéquate pour appréhender les êtres vivants que l'affirmation qu'ils sont composés de corpuscules mus selon certaines lois du mouvement, et elle a une si profonde affinité avec la thèse des animaux-machines que la discussion de cette thèse devient en fait souvent une analyse des capacités d'une horloge : c'est par exemple le cas dans le célèbre mot de Fontenelle sur la montre-chien et la montre-chienne que l'on met l'une à côté de l'autre. Disons en quelques mots ce qui exigerait bien des références textuelles et des précisions conceptuelles.

²⁹ *Deuxième Entretien*, p. 142-143.

³⁰ *Id.*, à comparer avec *Discours de la méthode*, in AT, VI, p. 58-59 ; Descartes à Newcastle, 13 nov. 1646, in AT, IV, p. 575-576.

³¹ *Id.*, p. 141 et p. 144.

Contrairement à un ensemble de corpuscules en mouvement et comme toutes les machines, l'horloge a une identité fonctionnelle : une machine reste la même comme machine quand toutes ses pièces ont été changées, à condition qu'elle puisse toujours accomplir la fonction qui est la sienne ; un ensemble de corpuscules n'ayant pas de fonction assignable, son identité est celle des corpuscules qui le composent³². Comme toutes les machines cinématiques, l'horloge donne de surcroît à voir une certaine unité : lorsqu'une horloge fonctionne, nous ne voyons pas en elle seulement une juxtaposition de parties, encore moins un tas de corpuscules, mais un ensemble composé de parties qui s'ajustent tellement bien que l'horloge est appréhendée au singulier, comme *une*³³. Ces deux caractéristiques sont intéressantes dans la mesure où nous attribuons aux êtres vivants une identité fonctionnelle plutôt que substantielle et où nous les appréhendons comme doués d'unité. Enfin, et c'est là qu'intervient la thèse des animaux-machines, si, dans tous les automates, la simple disposition des parties constitue ce que nous appellerions un programme, à savoir une suite d'actions régulées à l'avance, de surcroît, dans une horloge, la force motrice appartient au dispositif même : c'est son contrepoids³⁴. Aussi l'horloge donne-t-elle effectivement l'idée d'un fonctionnement régulier qui, sans nécessiter l'intervention d'une source d'énergie extérieure, découle de la simple disposition des parties³⁵.

Ce sont ces caractéristiques de l'horloge en général qui permettent à Rohault, comme à tant d'autres, de se hâter vers la conclusion que nous n'avons pas besoin de supposer que

³² Locke, *Essay on human understanding*, R. Woolhouse, ed., London et al., Penguin Book, 1997, II, chap. 27, § 5, p. 299, appréhende l'identité d'un être vivant en tant qu'elle se distingue de l'identité matérielle des corpuscules qui le composent, à partir de l'identité fonctionnelle d'une montre. La comparaison ne tient cependant pas jusqu'au bout : il n'est pas aussi facile d'assigner la fonction d'un être vivant que d'assigner la fonction d'une montre. C'est un des problèmes qu'exploite Kant dans la *Critique du jugement*, § 64, in *Œuvres*, éd. F. Alquié, Paris, Gallimard, 1985, II, p. 1161-1162, où, approfondissant la notion de fonction, il oppose contrairement à Locke l'être vivant et la montre, puis distingue finalité interne et finalité externe.

³³ C'est ce qui permet à G. Rodis-Lewis, « Limitations », *op. cit.*, p. 162-163, de soutenir contre Martial Gueroult qu'avec l'idée qu'il existe une certaine disposition des organes les uns par rapport aux autres, exposée dans *Les Passions de l'âme*, I 30, in AT, XI, p. 351, Descartes a de quoi attribuer à tous les êtres vivants une espèce d'unité, différente de celle que conférerait l'existence d'une âme indivisible. Pour une discussion plus approfondie des espèces d'unité qu'on peut attribuer à l'être vivant cartésien, voir D. Des Chene, *Spirits and Clocks*, *op. cit.*, p. 110-152.

³⁴ Alexander Marr, « Understanding automata in the Late Renaissance », *Journal de la renaissance*, vol. 2, 2004, p. 205-222, ici p. 215-220, partant d'un passage du *Mathematicall Magick* de John Wilkins (1648), introduit une distinction à la fois conceptuellement importante et historiquement justifiée entre deux espèces d'automates, ceux qui, comme les horloges fabriquées en Allemagne, sont stationnaires et mus par la seule disposition de leurs parties, et ceux qui, comme les moulins et les machineries des Jardins italiens, sont transitoires et nécessitent une source d'énergie extérieure.

³⁵ Le terme « disposition » est récurrent chez Descartes pour désigner l'ajustement des parties, en particulier, mais pas seulement, lorsqu'il s'agit des organes d'un animal, voir *Discours de la méthode*, in AT, VI, p. 59 ; *De l'homme*, in AT, XI, p. 120, p. 130 ; *Description du corps humain*, in AT, XI, p. 224-225. Aussi est-ce une marque infaillible d'obéissance cartésienne qu'un auteur affirme que les animaux sont de « pures machines » ou que tout se fait dans l'animal « par la simple disposition des parties ».

l'animal est animé par un principe immatériel et qu'il est doué de connaissance pour rendre compte de ses actions. En somme, le *Second Entretien* nous sert ici à illustrer l'affirmation suivante, qu'on pourrait vérifier sur de nombreux textes. Quand une horloge est introduite dans une discussion sur les animaux, ce n'est en général pas pour « composer la machine », pour détailler par le menu ce que sont les mécanismes d'un animal, et en expliquer ainsi le fonctionnement, c'est presque toujours dans le cadre d'une discussion sur la validité de la thèse des animaux-machines. L'horloge constitue alors, non une explication, mais une métaphore abstraite ou une idée générale qui illustre la possibilité que des actions régulées soient exécutées sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir un principe de vie et de connaissance³⁶.

La Mécanique des animaux de Perrault : des analogies avec des structures artificielles

Claude Perrault (1613-1688) possédait ce que nous appellerions une double compétence, en tant qu'architecte et mécanicien d'une part, et en tant que médecin et anatomiste d'autre part³⁷. Il est passé à la postérité principalement à titre d'architecte : il traduit Vitruve en français (1673), contribua à plusieurs grands projets du Roi Soleil (l'Observatoire de Paris, certains aménagements des jardins de Versailles et, de manière controversée, la colonnade du Louvre) et inventa diverses machines³⁸. Docteur en médecine et académicien dès 1666, il fut le maître d'œuvre des entreprises anatomiques et botaniques qui accaparèrent une bonne partie des physiciens de l'Académie pendant trente ans. C'est à ce titre qu'il publia les *Mémoires pour servir à l'histoire naturelle des animaux* (1671 et 1676), qui contiennent une description détaillée de trente et une espèces animales, puis les *Essais de physique* en quatre tomes (1680 pour les trois premiers, 1688 pour le dernier). Il mourut d'ailleurs d'anatomie : disséquant un chameau, il contracta une infection dont il ne se remit pas.

³⁶ Un constat similaire conduit J. Schlanger, *Les métaphores, op. cit.*, à voir dans l'horloge un « concept purement métaphysique » (p. 52) et une « fiction rationnelle » (p. 53). Au XVII^e siècle même, des jésuites comme Ignace-Gaston Pardies et Gabriel Daniel reprochent précisément aux cartésiens de ne pas composer la machine, et de se contenter d'affirmer en général que les parties des animaux ont *certaines* dispositions, susceptibles de provoquer *certaines* effets.

³⁷ Sur la vie et l'œuvre de Perrault, voir Wolfgang Herrmann, *The Theory of Claude Perrault*, Londres, A. Zwemmer, 1973, et Antoine Picon, *Claude Perrault (1613-1688) ou la curiosité d'un classique*, Paris, Picard, 1988.

³⁸ Un recueil en sera publié à titre posthume par son frère Charles ; voir Claude Perrault, *Recueil de plusieurs machines de nouvelle invention*, Paris, Jean-Baptiste Coignard, 1684.

L'Éloge que lui consacre Fontenelle résume la chose d'une formule : la médecine était « sa profession particuliere », la mécanique « son inclination dominante »³⁹. Cette double compétence fait présager un bon candidat au titre de précurseur de Vaucanson et laisse beaucoup espérer du traité qui occupe tout le tome III de ses *Essais de physique*, intitulé *La mécanique des animaux*. On peut situer cet ouvrage de deux manières dans son œuvre. Par rapport aux *Mémoires*, qui revendiquaient explicitement de procéder en décrivant non seulement des espèces particulières, mais même des animaux singuliers – quatre lions, trois caméléons, cinq civettes, sept gazelles, deux chameaux –, il s'agit d'initier la coordination des faits en une histoire qui dégagerait peut-être certaines régularités et, en tout cas, réunisse tout ce qui se rapporte à une fonction donnée⁴⁰. Par rapport aux autres *Essais de physique*, il s'agit d'appliquer les résultats des traités du tome I, qui portent sur les corps naturels en général (*Du ressort et de la dureté, De la pesanteur, Du mouvement péristaltique*) et sur les plantes (*De la circulation de la sève des plantes*), mais sans avancer d'hypothèse qui aille au-delà du domaine de l'anatomie.

Ce domaine de l'anatomie n'est pas défini par Perrault tant par sa méthode, la dissection, que par son objet : c'est ce qui, de l'espace du dedans de nos organes, peut être rendu visible grâce à une description verbale ou à une représentation imagée. Parce qu'ils ne manifestent pas l'espace du dedans, les animaux tels que nous les voyons ne relèvent donc pas de l'anatomie⁴¹. Mais n'en relève pas non plus l'intériorité principalement invisible où se nichent, par exemple, les sensations telles que nous les éprouvons :

La dissection qui presente à l'œil la composition & la structure artificieuse de toutes les parties des organes, n'en fait voir, pour ainsi dire, que les dehors. Pour être instruit, autant qu'il est possible, de ce qui se fait dans les organes, il faut entrer plus avant, & passer outre, si l'on peut, par l'entremise des conjectures & des reflexions que les differens phenomenes peuvent fournir⁴².

³⁹ *Éloge de Monsieur Perrault*, in Fontenelle, *Œuvres*, Paris, V. Brunet, 1761, IX, p. 392.

⁴⁰ Claude Perrault, *Mémoires pour servir à l'histoire naturelle des animaux*, Amsterdam et Leipzig, Arkstee et Merkus, 1758 (désormais *Mémoires*), *Préface*, p. i et ix : « les descriptions particulieres & détachées que ce recueil », « amas », « narration des faits particuliers » ; « [...] nous n'exposons les choses que comme étant singulieres ; & parlant de l'animal que nous décrivons, nous disons notre lion, notre ours, notre aigle avoit une telle conformation, & nous n'en attribuons jamais aucune en général à aucun animal ». Les *Mémoires* sont analysés dans Anita Guerrini, « The "Virtual Menagerie": The *Histoire des animaux* Project », *Configurations*, 14, 2006, p. 29-41, voir en part. p. 32-34 sur la singularité des animaux représentés.

⁴¹ *Mémoires*, p. v : « [...] ce dessein de décrire principalement les parties a été encore retrainst [*sic*] à celles du dedans ; & c'est pour cela que nous avons appelé les descriptions que nous faisons, anatomiques, bien qu'elles contiennent beaucoup de choses qui se peuvent voir sans dissection ».

⁴² *Des sens extérieurs*, in *Essais de physique. Tome IV*, Paris, J.-B. Coignard, 1688 (désormais *Des sens extérieurs*), p. 19.

Cette visibilité de l'anatomie en fait selon Perrault un domaine privilégié par le type de certitude qui y opère, dans la mesure où, précisément, elle nous donne à voir les parties qui agissent alors que, dans le cas des autres phénomènes naturels, nous ne voyons rien et nous en sommes réduits à des conjectures⁴³.

Pour se familiariser avec *La mécanique des animaux*, on peut donc s'en rapporter à ce qui en est le plus visible, les planches qui l'illustrent⁴⁴. La plupart du temps, il s'agit de représenter un organe ou une partie d'organe, souvent connus grâce à une dissection et parfois vus au microscope, ainsi la planche XIV (*fig. 0*) qui représente différentes parties d'intestin de poisson vues au microscope. On trouve de surcroît quelques planches qui illustrent une analogie développée dans le texte entre un organe et un dispositif artificiel. Très classiquement, la figure 1 de la planche II met côte à côte un télescope et un œil pour illustrer l'analogie structurale entre verres et humeurs, tuyau noirci à l'intérieur et choroïde, diaphragme et bord de la choroïde, ligament ciliaire qui soutient le cristallin et virole qui soutient le verre, capacité de la lunette à être allongée ou raccourcie et faculté d'ajustement de l'œil⁴⁵. De manière un peu moins commune, la planche III (*fig. 0*) illustre une idée centrale chez Perrault, en comparant les muscles antagonistes d'un membre aux haubans d'un bateau : dans les deux cas, l'état d'équilibre correspond à un état d'égale tension, et le relâchement de l'un, soit du muscle soit du hauban, est suivi de la tension de l'autre muscle ou de l'autre hauban⁴⁶. De son côté, la planche VIII (*fig. 0*) rapproche le pic-vert qui tire ou rétracte sa langue et une machine de l'Observatoire grâce à laquelle, selon qu'on tirait sur la chaîne en E ou en H, on pouvait faire coulisser le couvercle A

⁴³ *La Mécanique des animaux*, in *Essais de physique. Tome III*, Paris, J.-B. Coignard, 1680 (désormais *La Mécanique*), p. 8-9 : « [...] ce n'est pas sans sujet que cette seconde espece de recherche [la recherche philosophique, qui vise les causes] n'est considérée que comme une divination en ce qui regarde la pluspart des causes naturelles des estres inanimez : parce qu'il n'y a guere que celles des actions des animaux qui puissent estre connuës bien clairement, la nature y employant des machines qui se peuvent demonter par le moyen de la dissection qui en fait voir toutes les pieces distinctement & separement : au lieu que l'analyse des autres estres ne fait jamais rien voir que de confus ». Sur l'idée que la mécanique avance des résultats certains sur des choses visibles, alors que la physique fait des hypothèses sur des causes probables, voir également *id.*, p. 5-6.

⁴⁴ A. Guerrini, « The "Virtual Menagerie" », *op. cit.*, p. 36-40, analyse les illustrations des *Mémoires*, d'ailleurs plus travaillées que celles de *La Mécanique*.

⁴⁵ *Id.*, p. 44-45.

⁴⁶ *Id.*, p. 75-76. Selon ce que Perrault appelle le « système ordinaire », c'est-à-dire selon Descartes (voir *De l'homme*, in AT, XI, p. 134-135), l'afflux d'esprits animaux dans un muscle M provoque son augmentation et sa contraction ; la théorie soutenue par Perrault est que l'afflux d'esprits animaux dans le muscle M provoque son relâchement, qui lui-même provoque la contraction du muscle N antagoniste à M (p. 76-77). Cette théorie est également défendue dans *Du mouvement péristaltique*, in *Essais de physique. Tome I*, Paris, J.-B. Coignard, 1680, p. 167-170.

vers la droite ou vers la gauche⁴⁷. Ces planches donnent à voir certaines machines, et c'est le cas d'autres comparaisons encore que propose Perrault, même si elles ne donnent pas lieu à des planches, où intervient un imaginaire mécanique plus riche que celui de Rohault et, en ce sens, plus fidèle que ce dernier ne l'était à un certain Descartes⁴⁸.

Ces références à des machines particulières ne suffisent cependant pas à expliquer les occurrences, extrêmement nombreuses, des termes « machine » et « mécanique » – il est ainsi question de la mécanique industrielle des organes qui remuent les paupières, de la mécanique qui permet le raccourcissement des muscles, de la mécanique par laquelle les polypes se déplacent sur terre, de la mécanique par laquelle les lions sortent leurs griffes, de la machine du cerveau, de la mécanique de la rate, etc.⁴⁹ Ces occurrences correspondent en fait à l'idée générique de machine dont il a été question en introduction, selon laquelle les machines sont des structures artificielles, des structures remplissant certaines fonctions. De fait, on trouve une variante de cette idée dans l'entrée « Machine, mécanique » du glossaire général qu'on trouve à la fin du tome III :

Machine est ce qui sert à faire quelque chose par le moyen d'un instrument artificiel & composé, plus facilement qu'avec les mains, ou qu'avec un instrument simple. Ainsi un poids qu'on ne peut remuer avec les mains seules, est aisément remué à l'aide d'un levier ; & l'on ne coupe pas si bien certaines choses avec un couteau qu'avec des ciseaux, qui sont une machine composée de deux couteaux⁵⁰.

Dans le cas des êtres vivants, les fonctions sont des fonctions animales élémentaires, en particulier se déplacer, se nourrir ; les structures, ce sont tout simplement les organes, ou les parties d'organes, qui correspondent à ces fonctions⁵¹. Ce que les occurrences des termes « machine » et « mécanique » semblent donc vouloir capturer, y compris dans le titre de l'ouvrage, ce n'est pas l'animal dans sa totalité, comme c'était le cas avec la métaphore abstraite de l'horloge, mais telle machine dans l'animal, c'est-à-dire la structure d'un organe particulier en

⁴⁷ *La Mécanique*, p. 150-151. Le texte mentionne de surcroît le mécanisme à enroulement qui permettait de remonter ou d'abaisser les vitres des carrosses.

⁴⁸ Ainsi, la comparaison entre les paupières et les rideaux qu'on tire devant une fenêtre (*id.*, p. 37), entre la patte d'une écrevisse et la lampe de Cardan (p. 82), entre les pattes d'une tortue et les rames d'une galère ancienne (p. 92), entre un poisson et le ludion (p. 113), entre une machine hydraulique qu'on pouvait trouver dans les cabinets du Roi et le fonctionnement du cœur (p. 245-246), entre trois espèces de soupapes et trois espèces de valvules (p. 251 *sq.*), entre les soufflets de forge et les poumons des oiseaux (p. 169).

⁴⁹ Pour ces différents exemples et quelques autres, voir *id.*, p. 37, 40, 73, 91, 95, 103, 160, 191, 238, 284, 292.

⁵⁰ *Id.*, p. 348. La distinction entre machine et instrument est ici celle de Vitruve : voir la référence donnée *supra* note 13.

⁵¹ *Id.*, p. 15 : « Ces trois fonctions seront le fondement de l'ordre que je me propose de tenir pour le dessein que j'ay d'expliquer par la mécanique les principales fonctions des animaux [...] ».

tant qu'il remplit telle fonction. En ce sens, Perrault semble ne faire que réactiver l'articulation des structures et des fonctions qu'on trouve dans le *De usu partium* de Galien. Deux différences sont cependant notables.

En premier lieu, alors que la correspondance de la structure et de la fonction va de soi chez Galien, elle est menacée de deux manières chez Perrault. Du côté de la théorie épistémologique tout d'abord, le privilège du visible dans l'anatomie le conduit, dès le premier *Plan de travail* qu'il rédigea pour l'Académie, à présenter la fonction comme accessible seulement par conjecture, et en tout cas à souligner les problèmes que pose cette correspondance, soit que la fonction soit que l'organe soit invisible⁵². Du côté des pratiques scientifiques ensuite, étant donné le matériau d'histoire naturelle dont il disposait, il procède souvent par compilation des différentes structures susceptibles de réaliser une même fonction chez différents animaux, et ne réussit qu'exceptionnellement à repérer des régularités entre les structures et leurs fonctions : de sorte que, en fin de compte, devant la diversité du matériau rassemblé, on reste assez incertain sur l'existence d'une correspondance entre structure et fonction⁵³.

La seconde différence vient de ce que, contrairement à Galien, Perrault est bien un philosophe mécanique. Galien machinise bien le vivant, mais il ne le mécanise pas : il le décompose en parties définies selon leurs fonctions, mais ce sont des facultés naturelles, et non des lois de la nature, qui font que ces parties accomplissent leurs fonctions⁵⁴. Perrault en revanche estime ne pas avoir besoin de facultés : les organes étant des structures matérielles, il suffit qu'il y ait du mouvement pour qu'ils remplissent leurs fonctions⁵⁵. Peut-être objectera-t-on que les

⁵² On dispose de deux versions de ce projet, celle de Perrault lui-même et celle de Fontenelle. Selon la première, citée par A. Picon, *Claude Perrault, op. cit.*, p. 44, il y a deux espèces de vérités : les vérités de fait consistent « dans la connaissance de la structure des organes », et les vérités de droit « dans la découverte de leurs usages et de leurs actions ». Selon la seconde, *Histoire de l'Académie royale des Sciences. Tome I. Depuis son établissement jusqu'à 1686*, Paris, G. Martin, J.-B. Coignard et H.-L. Guérin, 1733, p. 18, Perrault distingue les observations anatomiques selon qu'elles portent sur la « construction des organes qui composent le corps des animaux » ou sur « l'usage de ces organes », mais ce sont tantôt les uns tantôt les autres qui sont conjecturales : « quelquefois certains organes fort connus [...] avoient des fonctions assés cachées, & quelquefois aussi des effets visibles & manifestes [...] dépendoient de quelques organes que l'on ne connoissoit pas bien [...] ». A. Guerrini, « The "Virtual Menagerie" », *op. cit.*, p. 33, commente l'articulation de la forme et de la fonction dans les *Mémoires*.

⁵³ Ainsi, les figures 2 et 3 de la planche XV sont des « machines différentes » que « la nature [...] a inventé[es] » pour ralentir le chyle en lui faisant parcourir un long trajet alors que peu de place était disponible, et Perrault note qu'on trouve des intestins structurés comme dans la figure 2 chez un poisson, le renard marin, un animal terrestre, le lièvre, et un oiseau, l'autruche (*La Mécanique*, p. 218). Un autre exemple est le mécanisme commun aux ongles des lions et aux écailles des moules (*id.*, p. 95).

⁵⁴ Voir sur ce point André Pichot, *Histoire de la notion de vie*, Paris, Gallimard, 1993, p. 131-142 et p. 344-345 ; Berryman, « Galen », *op. cit.*, p. 247.

⁵⁵ *La Mécanique*, p. 46 et p. 69 : « [...] toute la mécanique consiste en deux choses qui sont ou de rendre le mouvement des corps plus aisé, ou de le retarder [...] » ; « Comme le mouvement est une chose si generale dans la

vertus naturelles des corps, en premier lieu le ressort, c'est-à-dire la capacité qu'ont les corps de revenir à un état antérieur ou à restituer de manière différée le mouvement qui leur a été transmis, ne valent guère mieux que l'invocation de facultés. La différence est cependant que les vertus de Perrault, à commencer par le ressort, sont des propriétés de tous les corps naturels également : il n'y a donc pas chez lui, au moins en théorie, de facultés naturelles propres aux vivants, mais simplement des propriétés corporelles générales qui sont mises en œuvre d'une manière particulière dans les vivants. C'est en particulier le cas de ce que Perrault appelle le « mouvement péristaltique », un mouvement local de compression et de détente par lequel se font selon lui certains mouvements animaux, mais qui n'est en fait que la manifestation particulière chez les animaux du principe général du ressort : à la machine animale remontée de Descartes s'oppose la machine tendue de Perrault. En ce sens, on pourrait à ce point juger que Perrault n'est pas un vitaliste, si l'on entend par là une ontologie qui attribue des facultés spécifiques au vivant, mais bien un philosophe mécanique, si du moins on veut bien entendre ce terme au sens général qui a été donné en introduction, et non au sens restrictif qu'il a chez Descartes⁵⁶.

Toutefois, le mécanisme de Perrault est pour le moins singulier, car on s'aperçoit progressivement qu'absolument toutes les actions animales requièrent selon lui une âme⁵⁷. Dès le début de la *Mécanique des animaux*, il s'explique sur le malentendu que pourrait susciter le titre de son ouvrage :

[...] j'avertis que j'entens par animal un estre qui a du sentiment, & qui est capable d'exercer les fonctions de la vie par un principe que l'on appelle ame ; que l'ame se sert des organes du corps, qui sont de veritables machines, comme estant la principale cause de l'action de chacune des pieces de la machine ; et que bien que la disposition que ces pieces ont à l'égard les unes des autres, ne fasse guere autre chose par le moyen de l'ame, que ce qu'elle fait dans les pures machines, toute la machine neanmoins a besoin d'estre remuée et conduite par l'ame, de

nature qu'il en comprend presque tous les effets, il n'y a rien aussi dans les fonctions des animaux qui s'étende à tant de choses [...] ».

⁵⁶ L'opposition des deux espèces de machines est reprise à François Azouvi, « Entre Descartes et Leibniz : l'animisme dans les *Essais de physique* de Claude Perrault », *Recherches sur le XVII^e siècle*, 5, 1982, p. 9-19 (ici p. 10-11). L'opposition de Descartes et de Perrault ne concerne pas seulement les animaux, mais les propriétés naturelles des corps en général, le ressort et la dureté n'étant pas pour Descartes des propriétés premières. L'élasticité, entendue comme la capacité qu'ont certains corps à revenir à un état antérieur, est une des croix de toute ontologie physique posant qu'il n'y a pas de différence entre états naturels et violents, que la matière est inerte et le mouvement, transitif, voir sur ce point S. Roux, *La philosophie mécanique*, op. cit., II, chap. 4, p. 563-610.

⁵⁷ Les théories de l'âme animale de Perrault ont également été étudiées dans F. Azouvi, « Entre Descartes et Leibniz », op. cit., et François Duchesneau, *Les Modèles du vivant de Descartes à Leibniz*, Paris, Vrin, 1998, p. 265-287.

mesme qu'une orgue, laquelle quoyque capable de rendre des sons differens, par la disposition des pieces dont elle est composée, ne le fait pourtant jamais que par la conduite de l'organiste⁵⁸.

Un demi-siècle avant Vaucanson, contrairement à un automate comme l'horloge, un instrument de musique comme l'orgue ne peut émettre de mélodie sans l'intervention d'un musicien. La comparaison de l'animal à un orgue permet donc à Perrault de distinguer une thèse qu'il estime vraie (les organes sont de « véritables machines », des structures qui, étant mises en mouvement, remplissent certaines fonctions) et une thèse qu'il estime fausse (l'animal dans sa totalité serait une « pure machine », une machine qui fonctionne sans âme). Il reste néanmoins assez flou ici quant à la fonction que remplit l'âme animale : dans un premier temps, il semble dire que l'âme ne fait guère que redoubler ce que la disposition des pièces de la machine suffirait à accomplir ; dans un second temps toutefois, il attribue deux fonctions à l'âme animale, « remuer » la machine et la « conduire ». La première fonction semble importante dans les lignes qui suivent immédiatement : l'âme apparaît alors comme une sorte de premier moteur, une source d'énergie qui donne l'impulsion initiale tout en restant inaccessible à l'enquête mécanique⁵⁹. Mais en fait, à lire les autres traités de Perrault, en particulier le traité *Du bruit*, on constate que c'est la seconde fonction qui l'emporte et détermine ce qu'est à proprement parler l'âme animale. Cette dernière n'a pas pour fonction de fournir un mouvement initial que la disposition des pièces de la machine viendrait ensuite redistribuer, mais d'assumer un commandement pensé en termes politiques : régler, ordonner ou guider la machine. Avec un commandement de ce genre, on quitte manifestement les causes mécaniques pour les raisons intentionnelles, qui présente selon Perrault la caractéristique de n'être pas nécessitées⁶⁰.

Son argument le plus constant pour soutenir – à titre d'hypothèse probable puisqu'il ne s'agit plus d'anatomie⁶¹ – que les animaux ont une âme est en effet qu'il existe certaines actions animales qu'on ne peut expliquer si l'on ne suppose une âme qui ordonne, c'est-à-dire qui choisisse d'accomplir ces actions-là plutôt que d'autres actions possibles. Il oppose par exemple la suite d'actions par lesquelles un animal réussit à rentrer chez lui par un chemin qu'il ne connaît

⁵⁸ *La Mécanique*, p. 1. La comparaison avec un orgue avait été employée par Descartes à propos de la circulation des esprits animaux dans les nerfs : voir *De l'homme*, in AT, XI, p. 165-166.

⁵⁹ *Id.*, p. 1-2. Ces lignes vont dans le sens de la division de travail entre étude du mouvement et étude de la source du mouvement repérée par D. Des Chene, « Mechanisms of life », *op. cit.*, p. 246, p. 255-256, mais elles ne sont pas représentatives de l'œuvre de Perrault.

⁶⁰ Sur le privilège cartésien de la causalité mécanique par rapport à la causalité politique, voir Canguilhem, « Machine et organisme », *op. cit.*, p. 114-115.

⁶¹ *Du bruit*, in *Essais de physique. Tome II*, Paris, J.-B. Coignard, 1680 (désormais *Du bruit*), p. 261.

pas et l'enchaînement mécanique qui mène de l'allumage de la poudre à canon à l'écroulement du mur que le boulet a atteint : dans le premier cas, on a une suite qui n'a aucun précédent au moment où il est accompli et qui aurait pu être autrement ; dans le second cas, on a un enchaînement nécessaire⁶². Aussi n'est-il pas étonnant qu'il récuse la comparaison cartésienne de l'âme animale au contrepoids d'une horloge : le contrepoids, étant donné la disposition des parties de l'horloge, détermine nécessairement le mouvement de ses aiguilles, mais, justement, ce n'est pas le cas de l'âme animale qui choisit entre différents mouvements possibles⁶³. De manière plus étonnante, Perrault estime que cette âme animale est diffuse dans tout le corps et qu'elle n'a pas besoin d'organe corporel⁶⁴. On notera enfin qu'il étend son domaine d'action jusqu'aux mouvements involontaires (le cœur qui bat) ou réflexes (les paupières qui se ferment)⁶⁵.

En résumé, les machines que fait intervenir la *Mécanique des animaux* sont des structures artificielles destinées à rendre compte du fonctionnement non de l'animal dans sa totalité, mais de certains organes. Pour expliquer le fonctionnement de ces structures, Perrault ne recourt pas à des facultés animales spécifiques, mais au mouvement et à ce qu'il estime être des propriétés des corps naturels en général, comme le ressort et la dureté : en ce sens, il articule bien explications mécaniques et explications mécaniques. Dans d'autres traités, il oppose cependant le domaine de la mécanique et de la nécessité au domaine du choix et de la décision, et conserve aux animaux une âme incorporelle, diffuse dans tout le corps, qui a pour fonction de guider absolument tous leurs mouvements.

Le *De Motu animalium* de Borelli : le modèle des machines simples ?

Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679) fait partie de la deuxième génération galiléenne. Elève de Benedetto Castelli, il fut une grande partie de sa vie professeur de mathématiques à

⁶² *Id.*, p. 275-282 et p. 276-277 pour l'exemple du canon. F. Azouvi, « Entre Descartes et Leibniz », *op. cit.*, p. 12-13, donne d'autres exemples d'actions animales contingentes. Dans certains passages, Perrault rattache les plantes aux phénomènes naturels dont on peut expliquer les actions par des enchaînements nécessaires, et précise que, plus dépendantes à l'égard de leur milieu, elles n'ont pas besoin d'âme spécifique (*id.*, p. 303-304 ; *Des sens extérieurs*, p. 21, p. 78-83).

⁶³ *Du bruit*, p. 301-302, à comparer avec la *Description du corps humain*, in AT, XI, p. 226, p. 341.

⁶⁴ *Id.*, p. 262-269.

⁶⁵ Il est hors du propos de cet article d'examiner la distinction que fait Perrault entre pensées expresses (consacrées à la connaissance des choses du dehors) et pensées confuses (occupées à régler les phénomènes du dedans) ou d'analyser sa théorie que les mouvements que l'âme du nouveau-né dirige initialement deviennent, par habitude, ce que nous appellerions des automatismes. Voir *Du bruit*, p. 282-310 et, en première approximation, F. Azouvi, « Entre Descartes et Leibniz », *op. cit.*, p. 14-16.

Messine, et publia à ce titre des ouvrages de mathématiques (*Euclides restitutus*, 1658 ; *Apollonii Pergaei conicorum libri*, 1661), d'astronomie (*Theoricae mediceorum planetarum ex causis physicis deductae*, 1666) puis de mécanique (*De vi percussionis*, 1667 ; *De motionibus naturalibus a gravitate pendentibus*, 1670). Pendant la dizaine d'années où il fut professeur à Pise (1656-1666), là encore de mathématiques, il anima la brève Accademia del Cimento (1657-1666), participa à son programme d'expérimentation systématique et entreprit plus particulièrement différentes recherches anatomiques avec Marcello Malpighi puis Lorenzo Bellini. Le *De motu animalium*, paru en deux volumes posthumes en 1680-1681, résulte de cette rencontre entre anatomie et mathématiques, moins rare qu'il n'y paraît au premier abord⁶⁶.

Dès la dédicace, Borelli affirme que si la description des parties des animaux et de leurs fonctions n'a pas été jusqu'à leurs parties les plus secrètes et les plus divines, c'est parce que les « simples anatomistes » et les « philosophes vulgaires » n'ont pas su déchiffrer le langage dans lequel Dieu a écrit son livre, à savoir, selon le mot du divin Platon, la géométrie.

Puisque les animaux sont des corps et que leurs opérations vitales ou bien sont des mouvements, ou bien ne peuvent être accomplies sans mouvement, et puisque les corps et les mouvements sont les objets des mathématiques, la théorie scientifique [des animaux] sera complètement géométrique. Et de même les opérations des animaux sont accomplies par des causes, des instruments et des raisons mécaniques, à savoir la balance, le levier, la poulie, le treuil, le coin, la vis, etc. Et puisque la connaissance scientifique de ceux-ci est complètement géométrique, il sera vrai que Dieu, pour construire les organes animaux, fait de la géométrie, et que nous, pour les comprendre, nous avons besoin de géométrie, car c'est la seule science adéquate pour pouvoir lire et comprendre le livre que Dieu a écrit dans les animaux⁶⁷.

⁶⁶ Sur la position historiographique de Borelli, voir la synthèse déjà ancienne proposée par Ugo Baldini, « Giovanni Alfonso Borelli e la rivoluzione scientifica » et « Giovanni Alfonso Borelli biologico e fisico negli studi recenti », *Physis*, 16, 1974, respectivement p. 97-128 et p. 234-266. Sur le *De motu animalium*, voir Maria Teresa Marcialis, « L'immagine della natura nel *De motu animalium* di Giovanni Alfonso Borelli », in Maria Teresa Marcialis et Francesca Maria Crasta (dir.), *Descartes e l'eredità cartesiana nell'Europa sei-settecentesca. Atti del Convegno « Cartesiana 2000 »*. Cagliari, 30 novembre - 2 dicembre 2000, Lecce, Conte editore, 2002, p. 295-309. Sur la rencontre entre anatomie et mathématiques, voir Domenico Bertoloni Meli, « The Collaboration between Anatomists and Mathematicians in the Mid-Seventeenth Century with a Study of Images as Experiments and Galileo's Role in Steno's *Myology* », *Early Science and Medicine*, 13, 2008, p. 665-709, plus particulièrement p. 677-684 pour la collaboration entre Borelli, Malpighi et Bellini.

⁶⁷ Giovanni Alfonso Borelli, *De motu animalium*, 2 vol., Liège, C. Boutesteyn et al., 1685 (désormais *De motu I* et *De motu II*), *Christinae Reginae Augustae*, I, n.p. : « Cùm enim Animalia corpora sint, & eorum vitales operationes aut sint motus, aut non sine motu peragi queant, sintque corpora et motus subjectum Mathematicae, erit talis scientifica contemplatio prorsus Geometrica. Pariterque animalium operationes fiunt à causis, & instrumentis, & rationibus mechanicis, nempè libra, vecte, trochlea, tympano, cuneo, cochlea, &c. Cùmque scientifica cognitio harum sit prorsus Geometrica, verum erit, quòd Deus in constructione organorum Animalium Geometricam exercet, et nos in earum perceptione Geometria indigemus, quae est unica et adapta scientia ut legi possit et percipi Codex

La référence galiléenne est ici appuyée⁶⁸. Dans la *Préface*, la référence aux mathématiques revient d'une manière un peu différente, à titre de revendication disciplinaire. Borelli affirme que son projet n'a pas été seulement d'orner et de parer la science des mouvements animaux en démonstrations mathématiques, mais bien de faire en sorte qu'elle soit incluse parmi les sciences physico-mathématiques, au même titre que l'astronomie par exemple⁶⁹. Aussi présente-t-il le *De motu animalium* comme le couronnement de son œuvre et la suite naturelle des deux ouvrages de mécanique qu'il avait précédemment publiés, le *De motionibus naturalibus a gravitate pendentibus*, et surtout le *De vi percussione*⁷⁰.

De fait, non seulement le *De motu animalium* adopte une forme d'exposition *more geometrico*, mais, du point de vue de son contenu, sa première partie, consacrée à l'analyse des mouvements manifestes des animaux, est irriguée par des connaissances traditionnellement répertoriées comme mécaniques : une théorie des machines simples tout d'abord, puis une analyse des centres de gravité. Dans la première série de propositions, sur laquelle nous nous concentrerons, il ne s'agit pas seulement de comparer un bras et un levier par exemple, mais bien de calculer, grâce à la théorie constituée qu'est la théorie des machines simples, quelle est la force nécessaire pour qu'un muscle donné, caractérisé par sa structure, sa disposition (selon qu'il est plus ou moins fléchi par exemple), ses dimensions, puisse soutenir ou soulever un poids

divinus in Animalibus conscriptus. » Cette édition présente des erreurs dans la numérotation des propositions : j'ai rétabli une numérotation correcte dans mes références.

⁶⁸ G. Canguilhem, « Machine et organisme », *op. cit.*, p. 104, affirme que seul le nationalisme italien peut expliquer qu'on rattache Borelli à Galilée plutôt qu'à Descartes ; on se demande ici qui est coupable de nationalisme : comme le remarque M.-T. Marcialis, « L'immagine della natura », *op. cit.*, p. 296-207, n. 4, le *De motu* se réfère une seule fois explicitement à Descartes, et encore est-ce pour critiquer sa théorie fantaisiste de la fièvre. Pour des références explicites à différents ouvrages de Galilée, voir par ex. *De motu I*, prop. 177, 178, 182, 209, I, respectivement p. 13, 217, 251. Il n'en reste pas moins que Borelli connaissait Descartes ; il le critique souvent sans le nommer : voir par ex. *De motu I*, cap. 1, p. 2 (cité *infra* note 78) ; *De motu II*, prop. 7, 17, 96, respectivement p. 9, 25-26, 137.

⁶⁹ *De motu I, Proemium*, I, n.p. : « Hanc igitur mihi operam suscepi, ut haec Physices pars, demonstrationibus Mathematicis ornata & locupleta, non minùs, quàm Astronomia, inter Physico-Mathematicas partes recenseri posset ». Voir encore *id.*, chap. 10, I, p. 44 : « Sicuti praeclarè divinus Plato pronuntiavit Geometriam, & Arithmetica esse duas alas, quibus ad caelum ascendimus, scilicet quibus arcana Astronomiae percipimus, sic quoque affirmare possumus scalas, quibus ad scientiam admirabilem motuum animalium scandimus, esse Geometriam, & mechanicam (De même que, selon l'affirmation célèbre du divin Platon, la géométrie et l'arithmétique sont les deux ailes par lesquelles nous montons au ciel, c'est-à-dire par lesquelles nous comprenons les secrets de l'astronomie, de même nous pouvons aussi soutenir que les escaliers par lesquels nous nous élevons jusqu'à la science admirable des mouvements animaux sont la géométrie et l'arithmétique). »

⁷⁰ *Id.*, *Proemium*, I, n.p. : « [...] post libros de Vi Percussione, & de Motibus Naturalibus à Gravitate pendentibus jam editos, qui praemitti debuerant, subsequitur opus principale de Motibus Animalium [...] (Après la publication des livres *De vi percussione* et *De motibus naturalibus à gravitate pendentibus*, qui devaient venir en premier, suit l'ouvrage principal, le *De motibus animalium*). » Les références au *De vi percussione* sont nombreuses tout au long du *De motu*.

donné⁷¹. Les muscles sont alors littéralement des machines qui sont mues par une force donnée et qui produisent certains effets, en particulier soutenir les membres et soulever des poids : il s'agit de décrire la structure de ces machines pour en comprendre le fonctionnement⁷². Pour donner quelques exemples du type de résultat auquel Borelli parvient, la figure 15 de la planche II (*fig. 0*) correspond à la proposition 22 où il calcule que le poids R maximum qu'un homme jeune peut porter à bout de bras, c'est-à-dire, d'après ses observations, un poids de 26 livres, ne peut l'être qu'à condition que cet homme dispose d'une force d'au moins 560 livres. Ce résultat correspond au poids à soulever, augmenté du poids du bras ramené à son extrémité ($26 + 2 = 28$), puis multiplié par le rapport entre la longueur du muscle et la longueur du tendon auquel il est attaché ($28 \times 20 = 560$)⁷³. Un autre exemple, qui correspond à l'ultime proposition de cette série de propositions calculant les forces musculaires, la proposition 128, est que la puissance de tous les muscles intercostaux est de 32 040 livres⁷⁴.

Ces chiffres sont surprenants, et pas seulement parce qu'ils relèvent de la catégorie épistémologiquement bien identifiée des quantifications prématurées : ils le sont aussi parce que la caractérisation classique des machines simples est qu'elles permettent d'accomplir avec une petite force ce qui nécessiterait sans cela une grande force. De fait, Borelli le souligne lui-même avant de se lancer dans ses calculs, il s'apprête à démontrer qu'est fausse une proposition qui, non seulement a été assumée par tous ses prédécesseurs, mais qui paraît extrêmement probable étant donné la manière dont la nature agit en toutes choses avec sagesse, simplicité, économie⁷⁵. La proposition qu'il estime fausse, c'est que les machines que sont les muscles permettent de soulever d'immenses poids grâce à une petite force ; en fait, d'après lui, c'est le contraire qui est vrai :

⁷¹ Ugo Baldini, « Animal Motion before Borelli, 1600-1680 », in D. Bertoloni Meli (dir.), *Marcello Malpighi, op. cit.*, p. 193-246 (ici p. 197), constate que ce type de calcul n'est jamais effectué de manière systématique avant Borelli.

⁷² *De motu I*, chap. 1, I, p. 2-3 : « constat musculos esse organa & machinas, quibus faculta animae motiva articulos et partes animalis movet (il est établi que les muscles sont les organes et les machines, grâce auxquels la faculté motrice de l'âme meut les membres et les parties de l'animal). » La métaphore est ensuite reprise tout au long de l'ouvrage, voir par ex. prop. 54, p. 78 : « expositio novae machinae » ; prop. 62, p. 82 : « alia structura musculorum exponi debet, quae organum mechanicum diversum à superiùs enarratis constituit (il faut tout d'abord décrire une autre structure musculaire, qui constitue un instrument mécanique différent de ceux qui ont été présentés plus haut » ; prop. 89, p. 131 : « Licèt costarum ossa similia videantur esse mandibulae inferioris [...] ; valdè tamen differunt inter se hae duae machinae (les os des côtes paraissent similaires aux mâchoires inférieures, mais ces deux machines diffèrent beaucoup entre elles) », *passim*.

⁷³ *Id.*, prop. 22, I, p. 34-35.

⁷⁴ *Id.*, prop. 128, I, p. 161.

⁷⁵ Sur ces caractéristiques de la nature selon Borelli, voir M.-T. Marcialis, « L'immagine della natura », *op. cit.*, p. 302-306.

Je démontrerai en effet que des machines sont bien utilisées dans les mouvements animaux, et qu'elles sont multiples et variées ; mais que, cependant, elles ne soulèvent pas de grands poids avec une petite vertu : au contraire, elles soutiennent de petits poids avec une grande vertu et vigueur de la faculté animale, de sorte que la vertu motrice dépasse bien des fois, des centaines de fois, des milliers de fois, le poids des os et des articulations soulevés, et n'est jamais plus petite qu'eux. Et c'est principalement ceci qui sera l'objet et la matière de cette première partie⁷⁶.

La chose est paradoxale. En effet, cela revient à soutenir à la fois que les muscles sont des machines et qu'ils fonctionnent contrairement aux machines, c'est-à-dire non pas en économisant les forces permettant de produire un effet donné, mais en dépensant de grandes forces pour obtenir un petit effet. En fait, les propositions s'enchaînent de manière à rendre raison de ce paradoxe en ajoutant au fur et à mesure de nouvelles raisons que des forces supplémentaires soient nécessaires, comme s'il s'agissait d'inverser progressivement le modèle simple du levier qui avait été initialement proposé. Sans rentrer dans le détail, disons que cette première série de propositions se termine sur la question de savoir d'où vient toute la force que nous dépensons dans les machines que sont les muscles.

Au début de la première partie, Borelli avait noté qu'il entendait appliquer, comme on le fait usuellement, les termes de volonté, de commandement et d'autres de ce genre aux animaux⁷⁷. Ignorant délibérément la thèse cartésienne des animaux-machines, il faisait aussi de l'âme le principe de la vie et du mouvement :

Que le principe et la cause effective du mouvement des animaux soit l'âme, personne assurément ne l'ignore, puisque les êtres animés vivent par l'âme, que, tant que leur vie dure, le mouvement persévère en eux, mais que, lorsque l'animal est mort, c'est-à-dire lorsque leur âme

⁷⁶ *De motu I*, prop. 8, I, p. 14-15 : « Demonstrabo enim verè machinas in motionibus animalis adhiberi, & illas multiplices, & varias esse ; Attamen non parva virtute magna pondera sublevari, sed è contra magna virtute, & robore facultatis animalis parva pondera sustineri ; ita ut multoties virtus motiva centies, & millies superet pondum ossium, & articulorum sublevatorum & nunquam minor sit illis, & hoc erit praecipuum hujus primae partis, subjectum & materia ». D. Des Chene, « Mechanisms of Life », *op. cit.*, p. 253, attire lui aussi l'attention sur cette proposition.

⁷⁷ *De motu I*, *Proemium*, n.p., « Interim, erudite lector, scias velim, me persaepe usurpasse voces voluntatis, imperii, et similium lato modo, quatenus brutis analogia et similitudine quadam ab usu loquendi tribuuntur (En attendant, savant lecteur, je voudrais que tu saches que j'emploie très souvent en un sens large les termes de volonté, de commandement et d'autres de ce genre, dans la mesure où, suivant l'usage, ils sont appliqués par analogie et similitude aux bêtes brutes). »

n'agit plus, la machine de l'animal demeure complètement inerte et immobile⁷⁸.

Il n'exclut donc pas la possibilité que l'âme des animaux soit à l'origine de la formidable force qui leur permet de mouvoir leurs muscles ; au contraire, dans le cours de l'ouvrage, il note régulièrement que telle action se fait par un ordre de la volonté, un commandement de l'âme (*praecepto voluntatis, imperio animae*). Néanmoins, il souligne aussi que l'âme a besoin d'instruments matériels pour agir, et que ce sont ces instruments qu'il convient d'étudier, l'âme constituant une sorte de cause première dont il n'y a absolument rien à dire, pas même s'il s'agit d'un principe corporel ou incorporel, pas même ce qu'il en est des différences éventuelles entre l'âme animale et l'âme humaine⁷⁹. Aussi la seconde partie du *De motu animalium*, consacrée aux mouvements intérieurs des animaux, étudie-t-elle les différentes machines susceptibles de fournir effectivement, une fois que la volonté a donné un ordre, les forces nécessaires pour mouvoir les machines musculaires. En effet, ce qui fournit ces forces, ce sont encore des machines pour Borelli, même s'il ne s'agit plus de machines simples.

Trouver quelle est l'origine de ces forces revient à identifier les causes de la contraction musculaire. Il y en a deux selon Borelli⁸⁰. Il attribue en premier lieu aux muscles une capacité à se contracter résultant de structures qu'il a commencé par étudier macroscopiquement – ce sont ces structures qui sont représentées macroscopiquement sur les figures 5 à 12 de la planche IX ici reproduite (*fig. 0*)⁸¹. Les fibres musculaires sont des « machinettes » de ce genre, des petites machines faites d'un treillis de losanges capables de se dilater et de se contracter, comme le feraient des ressorts⁸². Ce sont donc les machines comme structures artificielles qui interviennent

⁷⁸ *Id.*, cap. 1, p. 2 : « Quod nempè principium, & causa effectiva motus animalium sit anima, nemo profectò ignorat, cum animantia per animam vivant, & durante vita motus in eis perseveret ; Extincto verò animali, id est, non ampliùs anima operante, machina animalis omninò iners, & immobilis relinquitur. »

⁷⁹ Voir déjà *ibid.* : « Manifestum quoque est cognitionem, & appetitum per se tantùm animalis partes non movere, & impellere, sed opus habere instrumentis necessariis, sine quibus motus effici nequeunt (Il est manifeste aussi que la connaissance et l'appétit ne meuvent et ne poussent pas les parties de l'animal seulement par elles-mêmes, mais ont nécessairement besoin d'instruments, sans lesquels elles ne peuvent produire de mouvement). »

⁸⁰ Ces deux causes sont présentées dès le *De motu I*, prop. 7, p. 8-9.

⁸¹ *De motu I*, chap. 16, prop. 91-112, p. 133-151.

⁸² Voir par ex. *id.*, prop. 114, I, p. 153 : « [...] quaelibet fibra musculi similis erit catenae, ex machinulis compositae. Tales autem machinulae, similes anulis, aut arcubus, non possunt esse durae et rigidae, cùm fibrae carnae in omnibus partibus longitudinis earum sint molles & flexibiles ; ergo potius similes erunt rhombis ex filis colligatis, qui à facultate motiva dilatantur, & proindè contrahuntur. Quare concipi debet, subtilissima fila, seu fibras musculorum, esse seriem machinularum forma porosa, seu rhomboidali [...] (Toute fibre musculaire sera similaire à une chaîne composée de machinettes. Et ces machinettes, similaires à des anneaux ou à des arcs, ne peuvent pas être dures et rigides, puisque les fibres de chair sont molles et flexibles sur toute leur longueur ; donc elles seront plutôt semblables à des losanges constitués d'un faisceau de fils, qui sont dilatés par une faculté motrice, et ensuite contractés. C'est pourquoi on doit concevoir que les fils très subtils des muscles, c'est-à-dire les fibres, sont une série de machinettes poreuses, c'est-à-dire en forme de losange). »

alors, que Borelli situe au niveau microscopique et qu'il s'efforce de soumettre à une quantification. Cependant, il note à plusieurs reprises que cette structure ne suffit à rendre compte des forces immenses dont on a besoin pour rendre compte du mouvement des muscles⁸³. Une fois toutes sortes d'explications improbables éliminées⁸⁴, la principale cause de la contraction et donc de la force musculaire est, selon lui, l'afflux dans le sang musculaire d'un suc qui, transmis par les nerfs, y provoque un processus de fermentation⁸⁵.

Peut-être dira-t-on que, avec cette fermentation, nous sommes loin des machines. Pourtant, elle est bien décrite comme une « opération mécanique (*mechanica operatio*) », quelque chose dont on peut exposer le « mécanisme (*modus mechanicus, actio mechanica*) »⁸⁶. Le « mécanique » semble alors correspondre à ce qui a été appelé dans l'introduction de cet article des machines physico-chimiques, dont on ne sait pas exactement comment elles opèrent et qui semblent le lieu de tous les mystères. Mais Borelli reproche à certaines explications leur obscurité et condamne certains usages du terme « fermentation » comme seulement métaphoriques et mal adaptés au sujet traité⁸⁷. Dès lors, ces machines physico-chimiques ne peuvent être laissées à leur mystère, et l'on se demande à quelles conditions les explications qui y recourent sont acceptables selon Borelli. En fait, le mécanique qui intervient ici n'est pas celui des explications machiniques, mais bien celui des explications mécaniques. Une étude un peu systématique montre en effet que Borelli associe le mécanique à la fois au matériel et au nécessaire. Il l'associe au matériel et à ce qui se fait par des échanges corpusculaires : c'est la raison pour laquelle il exclut des processus qui se feraient sans instrument, par l'action directe

⁸³ *De motu II*, prop. 5-6, II, p. 5-9.

⁸⁴ *Id.*, chap. 2, II, p. 23-40.

⁸⁵ *Id.*, prop. 22, II, p. 40-41.

⁸⁶ *Id.*, prop. 22 et prop. 27, II, respectivement p. 41 et 46-48.

⁸⁷ *Id.*, prop. 28, II, p. 52 : « [...] illi qui tam confidenter energiam [...] propriam esse ajunt ipsius fibrae motricis musculosae, à verborum obscuritate decipiuntur, & non advertunt impossibilitatem propriae assertionis (ceux qui soutiennent avec tant de confiance qu'il y a une énergie propre de la fibre motrice musculaire elle-même, sont trompés par l'obscurité des termes, et ne remarquent pas l'impossibilité de leur propre affirmation). » *Id.*, prop. 146, II, p. 208 : « Et quis non videt, obscuritatem hujus contextus oriri ex familiari philosophandi methodo Chymicorum, quibus satis est vocabula illa metaphorica fusionis & praecipitationis in medium asserre. Nec solliciti sunt de modo & artificio mechanico, quo talis fusio & praecipitatio efficiatur ; ut indè dignoscatur, an proposito negotio adaptari possint (Qui ne voit que l'obscurité de ce discours naît de la manière de philosopher familière aux chimistes, pour lesquels il suffit de brandir ces termes métaphoriques de fusion et de précipitation ? Et ils ne se soucient pas du moyen et de l'artifice mécanique, par lesquels une fusion et une précipitation de ce genre s'effectuent ; d'où vient qu'on ne sait pas s'ils peuvent s'appliquer au sujet en question). » *Id.*, prop. 179, II, p. 266 : « [...] Philosophi munus est sedulò cavere, ne speciosa vocabula illa metaphorica fermentationis, coctionis, maturationis, exaltationis & virtutis plasticae nobis imponant [...] (le devoir du philosophe est de consciencieusement prendre garde à ce que ces termes métaphoriques brillants de fermentation, de coction, de maturation, d'exaltation et de vertu plastique ne nous abusent pas). » La volonté qu'eut Borelli de limiter les usages incontrôlés de la notion de fermentation dans le cadre d'une polémique larvée avec Malpighi a été étudiée par Domenico Bertoloni Meli, « The Posthumous Dispute between Borelli and Malpighi », in D. Bertoloni Meli (dir.), *Marcello Malpighi, op. cit.*, p. 247-275 (ici p. 255-263).

d'une faculté immatérielle⁸⁸. Il l'associe au nécessaire et à ce qui est identique à lui-même en diverses circonstances : c'est la raison pour laquelle il n'admet pas n'importe quelle analogie, mais seulement des analogies qui valent terme à terme et qui expriment une même loi opère ici et là, conduisant des mêmes causes aux mêmes effets ici et là⁸⁹. Autrement dit, même s'il n'y a plus avec la fermentation de machines, il y a bien encore, pour Borelli, du mécanique.

Sans prétendre à une complète exhaustivité concernant un ouvrage à tout le moins complexe, il est intéressant de se demander pour finir quelles sont les occurrences dans le *De motu animalium* de l'automate par excellence qu'est l'horloge. En laissant de côté la comparaison épistémologique convenue selon laquelle le philosophe naturel s'efforce de déchiffrer les secrets de la nature comme un homme qui déchiffrerait les mécanismes d'une horloge⁹⁰, cette dernière intervient de deux manières.

La première occurrence de l'horloge s'insère dans une discussion sur la cause du mouvement du cœur, et, en fait, Borelli va rejeter la comparaison du cœur et d'une horloge, pour lui préférer une autre machine. Une fois dit que, la structure du cœur étant analogue à celle des autres muscles, le mécanisme agissant dans celui-ci doit être identique au mécanisme agissant dans ceux-là, le problème est selon lui d'expliquer une différence entre le cœur et les autres muscles :

[...] le muscle du cœur semble être autonome, et il n'obéit pas au commandement de la volonté, mais se meut toujours comme un moulin, que nous le voulions ou pas, même lorsque nous dormons [...]; et suivant une nécessité aveugle, il donne des coups très puissants et presque instantanés, qui alternent avec des pauses intercalées et des repos de durée égale⁹¹.

Borelli envisage successivement deux manières d'expliquer ce mouvement.

Dans la proposition 79, il est dit résulter d'une « nécessité organique, comme un automate qui se meut » – le terme « organique » désignant ici non pas ce qui est lié au vivant, mais, étymologiquement, ce qui est lié à des instruments matériels, et la comparaison avec l'automate venant de ce que, contrairement aux autres muscles, le cœur s'instille à lui-même le suc nerveux

⁸⁸ *De motu II*, prop. 16, 156, 184, II, respectivement p. 23-25, 232, 276.

⁸⁹ Voir par ex. en ce sens, *id.*, prop. 152, II, p. 212.

⁹⁰ *Id.*, prop. 28, II, p. 52-53.

⁹¹ *Id.*, prop. 78, II, p. 110 : « [...] musculus cordis sui juris esse videtur, non obsequitur voluntatis praecepto, sed non secus, ac moletrina semper movetur, sive velimus, sive nolimus, etiam dormientibus nobis [...]; caeca quadam necessitate efficit vehentissimos, ac ferè momentaneos ictus alternis vicibus interceptis pausis, & morulis aequè temporaneis [...]. »

qui provoque la fermentation⁹². Il s'agit donc de trouver un mécanisme qui produise spontanément une action se répétant à intervalles réguliers. Borelli mentionne plusieurs phénomènes naturels, puis remarque que c'est l'horloge qui semble être le mieux adaptée à représenter le cœur⁹³. Pourtant, il objecte immédiatement que, non seulement on ne trouve pas de pendules et de roues dentées dans le cerveau, mais que la simplicité de la nature interdit qu'on en trouve⁹⁴. Il se met donc en quête d'une autre « structure organique » pour représenter le mouvement du cœur, et celle qui lui paraît finalement la plus adaptée est un tube qui, en raison de son étroitesse et de la viscosité du liquide qui s'y trouve, relâche le liquide en question goutte à goutte : le mécanisme automatique du goutte-à-goutte correspond aux pulsations, le liquide visqueux, au suc nerveux⁹⁵. Après la discussion de quelques objections, vient une conclusion, dont la phrase ultime n'était en rien préparée par ce qui précédait :

Et cela, si je ne me trompe, suffit à persuader que le mouvement du cœur peut se faire par un instinct naturel, c'est-à-dire par une nécessité organique, comme un automate se meut.

Néanmoins il ne sera pas superflu de voir s'il existe des raisons de se demander si le mouvement du corps peut se faire, non par une pure nécessité naturelle mécanique, mais grâce à cette même faculté de l'âme qui meut tous les autres muscles⁹⁶.

La dernière phrase est contournée, mais il s'agit bien dans la proposition 80 d'examiner une tout autre manière d'expliquer le mouvement du cœur, comme s'il était causé par la faculté animale sensitive qui, contrairement à ce qu'il en est dans l'expérience des sensations de plaisir

⁹² *Id.*, prop. 79, II, p. 111 : « Motu Cordis fieri posse organica necessitate, ut automa movetur ». Ici, « mécanique » semble bien synonyme d'« organique », puisqu'on trouve un peu plus loin dans la même discussion les expressions suivantes : « a mera naturali mechanica necessitate » (p. 114) « necessitate mechanica, ut in automate » (p. 115). Sur ce fait de langue, voir plus généralement les références données *supra*, note 15.

⁹³ *Id.*, p. 112 : « Et inter omnia, ad vivum repraesentare videtur operationem cordis horologium, ex rotis dentatis compositum, in quo vis ponderis continuo operantis agitat lancem tempus distinguentem, seu pendulum oscillatorium repetitis ictibus ad instar undarum, non secus, ac cor movetur (Et ce qui, parmi toutes ces choses, semble représenter sur le vif l'opération du cœur, c'est une horloge composée de roues dentées, dans laquelle la force d'un poids qui opère continûment meut le balancier qui divise le temps, c'est-à-dire le pendule qui oscille avec des coups se répétant à la manière de vagues, comme le cœur se meut). »

⁹⁴ *Ibid.* : « Eadem difficultas vetat, ne pendula, aut rotae dentatae, aut quid simile in orificiis nervorum cerebri fingatur, à quibus motus oscillationis fiat, cum tales machinae nedum in cerebro non conspiciantur, sed videantur repugnare simplicitati, qua Natura summoperè delectatur in suis operationibus (La même difficulté interdit qu'on imagine dans les orifices des nerfs du cerveau des pendules, des roues dentées, ou un dispositif similaire, par lequel le mouvement de l'oscillation se fasse, puisque des machines de ce genre non seulement ne sont pas observées dans le cerveau, mais qu'elles semblent répugner à la simplicité à laquelle la nature se plaît au plus haut point dans ses opérations). »

⁹⁵ *Id.*, p. 113-114.

⁹⁶ *Ibid.* : « Et haec, ni fallor, satis suadent, motum cordis fieri posse naturali instinctu, seu necessitate organica, non secus, ac automa movetur. Nihilominus non erit supervacaneum videre, an adsint rationes dubitandi, utrum cordis motus fieri possit non à mera naturali mechanica necessitate, sed ab eadem animae facultate, à qua omnes alii musculi moventur. »

et de peine, s'exercerait alors inconsciemment, par une habitude acquise. L'argumentation de Borelli ne vise pas à établir que cette explication est vraisemblable, mais qu'elle n'est pas impossible : une série d'exemples montre qu'il arrive que les mouvements du cœur aient pour cause des sensations de plaisir et de peine et que des actions musculaires soient le résultat, par une habitude acquise, d'une action initialement volontaire, mais devenue à l'usage inconsciente. La conclusion de cette proposition est loin de constituer une adhésion inconditionnelle à l'explication par l'habitude du mouvement du cœur :

Il ne paraît donc pas complètement idiot et ridicule celui qui se demande si la pulsation du mouvement du cœur peut se faire, non par une nécessité mécanique aveugle, mais grâce à cette même faculté animale qui meut tous les muscles des membres par ses commandements volontaires, mais ici par habitude, et sans attention⁹⁷.

La proposition 80 n'en est pas moins singulière par rapport au reste de l'ouvrage de Borelli. Il est dès lors naturel d'y voir une pratique de la double vérité, en tout cas le résultat d'une prudence rhétorique, dont on n'explorera pas ici les raisons⁹⁸. Le fait est que la comparaison du cœur et de l'horloge semble, dans ces propositions, récusée de deux manières : en premier lieu parce que, s'il fallait conserver un automatisme pour expliquer le cœur, ce serait un mécanisme de goutte-à-goutte plutôt qu'une horloge ; en second lieu parce que l'idée que le mouvement du cœur ne soit pas automatisme, mais le résultat d'un mouvement volontaire devenu suffisamment habituel pour n'être plus conscient, n'est pas exclue.

La seconde occurrence de l'horloge est au contraire positive, et elle constitue une exception à la règle que nous avons initialement illustrée avec Rohault, selon laquelle l'horloge était principalement utilisée comme métaphore abstraite. Cette occurrence intervient dans une

⁹⁷ *Id.*, prop. 80, II, p. 116 : « Quare non videtur omnino ineptus, & risu excipendus is, qui dubitaret, pulsationem musculi cordis non à caeca necessitate mechanica, sed ab eadem facultate animale, habitu quodam fieri posse sine advertentia, à qua omnes artuum musculi arbitrariis praeceptis moventur. »

⁹⁸ C'est G. Giglioni, commentant ces propositions, « The Machines of the Body », p. 172-173, qui parle de « double vérité ». Disons sommairement qu'il y a au moins deux possibilités. 1) Il peut s'agir d'une inadvertance. Domenico Bertoloni Meli me signale en effet que plusieurs passages du *De Motu II*, manifestement contradictoires, résulte du fait que Borelli ne procéda pas à d'ultimes révisions éditoriales. 2) Etant donné que l'explication ici proposée coïncide avec celle de Perrault, il peut s'agir d'une tentative intentionnelle de polir le *De motu animalium* pour les Académiciens. Las des conditions de travail qui étaient les siennes en Italie à la fin de sa vie, Borelli chercha en effet, par l'intermédiaire de Jean-Dominique Cassini, à devenir membre de l'Académie royale des sciences et envisagea en 1678 d'envoyer cet ouvrage à Paris. Perrault n'étant cependant jamais nommé, pour étoffer cette hypothèse, il faudrait confronter systématiquement les deux œuvres, établir la spécificité de telle ou telle explication, et finalement la manière dont se sont faits les échanges franco-italiens.

discussion sur la fonction que l'air a dans la régulation de l'organisme animal⁹⁹. Borelli introduit une comparaison entre l'animal considéré dans sa totalité et une horloge en termes assez généraux pour qu'on puisse penser qu'il ne va pas aller au-delà de la métaphore abstraite :

Les automates semblent avoir une certaine ombre de ressemblance avec les animaux, dans la mesure où les uns et les autres sont des corps organiques en mouvement qui observent les lois mécaniques, et où les uns et les autres sont mus par des facultés naturelles. Voyons donc si nous pouvons d'une manière ou d'une autre examiner les propriétés des phénomènes naturels à partir de la connaissance des phénomènes artificiels¹⁰⁰.

En fait, c'est quelque chose de précis qui intéresse Borelli dans l'horloge, à savoir la nécessité qu'il existe, outre le poids qui tient lieu de force motrice et l'assemblage de roues dentées qui distribue cette dernière, un dispositif capable de réguler la force qui vient de la chute du poids. Il se réfère très précisément à un dispositif récent, le balancier qui est utilisé dans les horloges à pendule depuis le milieu du XVII^e siècle à la place de l'échappement à verge et foliot¹⁰¹. De même qu'il existe dans les horloges à pendule un balancier, soutient-il, de même, soutient-il, dans l'automate de la nature qu'est l'animal, il est nécessaire qu'il existe une machine capable de réguler les mouvements que les esprits (ou encore les sucs nerveux) impartissent aux membres : sans cela ils seraient désordonnés et furieux. On l'aura deviné, ce qui tient selon lui cette fonction de machine régulatrice, c'est l'air¹⁰².

⁹⁹ Ce n'est pas la seule fonction de la respiration selon Borelli ; pour les autres fonctions et pour la dispute implicite avec Malpighi, voir D. Bertoloni Meli, « The posthumous dispute », *op. cit.*, p. 256-259.

¹⁰⁰ *De motu II*, prop. 126, II, p. 164 : « Videtur automa umbratilem quandam similitudinem cum animalibus habere quatenus ambo sunt corpora organica se moventia, quae legibus mechanicis utuntur, & ambo à facultatibus naturalibus moventur. Videamus modo, an ex artificialium cognitione rerum naturalium proprietates indagare aliquo pacto possimus. »

¹⁰¹ *Ibid.* : « At quia talis vis motiva ponderis appensi, si libere ageret, momento rotas omnes convertendo, ad instar turbinis, cursum horologii completeret, & proinde non esset conformis, & aequalis motui Solis & Lunae. Utquè huic malo occurratur, apponi solet libra, vel pendulum oscillatorium, quod, legibus mechanicis itus & reditus aequitemporaneos efficiendo, violentiam causae motivae, & motus omnium rotarum dirigit, regulat & temperat, ut operationes conformes cursui Solis & Lunae resultent (Cependant cette force motrice du poids suspendu, si elle agissait librement, faisant tourner en un instant toutes les roues comme un tourbillon, accomplirait la révolution de l'horloge, et donc ne serait pas conforme et égale au mouvement du soleil et de la lune. Pour pallier ce défaut, on a l'habitude d'ajouter un balancier, c'est-à-dire un pendule oscillant qui, faisant conformément aux lois de la mécanique des allers et retours isochrones, dirige, régule et tempère la violence de la cause motrice et des mouvements de toutes les roues, de sorte qu'il en résulte des opérations conformes au cours de la lune et du soleil). » On attribue généralement à Christiaan Huygens la construction de la première horloge à pendule en 1656 ; pour une présentation sommaire des grandes révolutions horlogères du XIII^e au XVIII^e siècles, voir O. Mayr, *Authority*, *op. cit.*, p. 3-27.

¹⁰² *Id.*, p. 165 : « Verùm talis spiritus ob mobilissimam ejus naturam furibundo & phanatico motu organa animalis impelleret, & sic animal non efficeret vitales operationes, prout exigit finis naturae. Quare, ut in horologio, sic in animali, seu automate naturae adjungi debet machina regulatrix, quae necessitate mechanica refragnet vim motivam, ut non transgrediatur leges, à Divino Architecto institutas. Talis porrò machina similis esse videtur regulatori pendulo horologii ; nam illa quoque sua vi oscillatoria motum sanguinis & spirituum regulare debet, ne temerario &

Comme dans le cas de la fermentation, on se demandera sans doute ici en quoi l'air peut être qualifié de machine : une fois encore, le machinisme de Borelli va plus loin qu'on ne l'imagine. De même que les muscles sont composés de fibres qui sont décrites comme des machinettes élastiques, de même l'air est supposé être composé de machinettes, elles aussi assimilées à des ressorts¹⁰³. Dans le *De motu animalium*, Borelli ne donne pas la description de la structure de ces dernières ; sans doute l'avait-il déjà fait dans le *De motionibus naturalibus a gravitate pendentibus*¹⁰⁴. La propriété qui l'intéresse dans les ressorts est que, contrairement aux machines simples comme la balance, ils sont susceptibles de revenir à leur état d'équilibre quand ils en sont écartés : ils acquièrent ce faisant un certain élan, qui les conduit à aller au-delà de cet état d'équilibre¹⁰⁵. D'où finalement un mouvement d'oscillation, que Borelli estime nécessaire dans la comparaison du balancier d'une horloge et des particules d'air, eu égard à leur action régulatrice : ces dernières communiquent leur oscillation à toutes les particules du corps animal, régulent la force de leurs sucs nerveux et permettent ainsi aux mouvements vitaux de s'accomplir correctement. On a plus haut opposé la machine remontée de Descartes à la machine tendue de Perrault : en ce qui concerne la machine de Borelli, il semble que ce soit, au moins à un niveau microscopique, une machine oscillante¹⁰⁶.

furibundo cursu eos diffuere permittat. [...] Hinc detegimus grande illud mysterium necessitatis aëris in animalibus (Mais un tel esprit, étant donné sa nature très mobile, imprimerait un mouvement furieux et frénétique aux organes de l'animal, en sorte que l'animal ne pourrait plus accomplir les opérations vitales comme la fin de sa nature l'exige. C'est pourquoi, de même que dans une horloge, il faut ajouter dans l'animal, qui est un automate de la nature, une machine régulatrice, qui selon une nécessité mécanique, réfrène sa force motrice, de façon qu'il ne transgresse pas les lois instituées par le Divin Architecte. Ainsi, cette machine semble être similaire au pendule régulateur d'une horloge, car elle aussi doit réguler le mouvement du sang et des esprits par sa force d'oscillation, pour ne pas les laisser se répandre en un cours désordonné et furieux. [...] Ainsi nous avons mis à nu ce grand mystère de la nécessité de l'air pour les animaux). »

¹⁰³ *Id.*, prop. 115, II p. 163 : « [...] considero, quod aeris minimae pa[r]ticulae sunt machinae spirales, quae comprimi à vi externa possunt, & deinceps spontè resilire ad instar arcus (j'estime que ces très petites particules d'air sont des machines pneumatiques, qui peuvent être comprimées par une force externe, et ensuite revenir à leur état spontanément, comme des arcs). » Il semble que Borelli passe ici du balancier qui régulait les horloges à pendule au ressort qui régulait les montres ; voir O. Mayr, *Authority, op. cit.*, p. 8 et 14.

¹⁰⁴ *De motionibus naturalibus a gravitate pendentibus*, Bologne, 1670, I, chap. 5, prop. 123-125, p. 257-263, présente les particules d'air comme des séries de cônes susceptibles de s'emboîter les uns dans les autres. Je dois la connaissance de ce texte à Christoph Lüthy.

¹⁰⁵ *De motu II*, prop. 115, II p. 162.

¹⁰⁶ *Id.*, prop. 116, II p. 165 : « [...] nempè necesse est, ut aëris machinulae, immistae intra sanguinem, efficiant illum motum oscillatorium ad instar penduli [...]. Ab ipsis verò machinis aëreis concussis partes sanguinis eis contiguae eodem motu partes omnes animalis rithmo regulari commoventur, non secus, ac rotae horologii ab oscillatione penduli impelluntur, moderanturque (il est nécessaire, que les machinettes de l'air une fois entrées dans le sang, accomplissent leur mouvement oscillatoire comme un pendule. Les parties du sang, animées du même mouvement par les machines d'air auxquelles elles sont contiguës, meuvent toutes les parties de l'animal d'un rythme régulier, comme les roues d'une horloge sont poussées et régulées par l'oscillation du pendule). »

La comparaison de l'animal à une horloge munie d'un régulateur n'est pas fugitive dans le *De motu animalium* : elle est reprise ultérieurement, plus ou moins dans les mêmes termes, mais cette fois pour expliquer qu'un œuf fertilisé ait besoin de chaleur pour se développer¹⁰⁷. On voit à ce point que Borelli ne se sert pas, à la manière de Rohault, de l'horloge comme d'une métaphore abstraite permettant d'illustrer une thèse : il s'agit bien pour lui d'essayer d'appréhender, grâce à la constitution spécifique des horloges et des montres de son temps, certaines propriétés de l'animal. Pour résumer, plus généralement, notre parcours dans son ouvrage, il faut insister sur la diversité des explications que nous y avons rencontrées : outre les explications des mouvements musculaires effectuées dans la première partie grâce à des machines simples, il y a une philosophie mécanique dans laquelle les corpuscules sont qualifiés de machines, mais aussi une exploitation spécifique de certaines particularités techniques des horloges.

Conclusion

Dans cet article, nous sommes partie de deux idées : il existe une différence entre explications mécaniques et explications machiniques ; il faut, pour mieux comprendre ces dernières, distinguer entre différentes espèces de machines. Nous avons dès l'introduction rencontré plusieurs raisons de penser que les animaux se laissent mieux appréhender en termes machiniques qu'en termes mécaniques. La lecture des *Entretiens de philosophie*, de *La mécanique des animaux* et du *De motu animalium* n'a cependant pas simplifié l'affaire.

En premier lieu, les machines convoquées sont différentes et elles ne sont pas destinées à expliquer les mêmes phénomènes : chez Rohault, on a une machine cinématique particulière, l'horloge, qui sert à appréhender l'animal dans sa totalité ; chez Perrault, la machine est entendue génériquement comme structure artificielle et elle est utilisée ponctuellement, à propos de certains organes ; Borelli se réfère aux machines simples pour calculer la force nécessaire aux mouvements manifestes des animaux, mais aussi à une philosophie mécanique dans laquelle les corpuscules sont des machines, voire à la machine cinématique particulière qu'est l'horloge.

En deuxième lieu, les suppléments d'âme introduits ne sont pas identiques : chez Rohault, les animaux n'ont pas d'âme du tout, et il n'y a pas de place dans son ontologie pour une âme qui

¹⁰⁷ *Id.*, prop. 186, II p. 281-284.

ne serait pas substance immatérielle ; chez Perrault, ils ont une âme omniprésente dont on s'aperçoit progressivement qu'elle guide jusqu'à leurs mouvements involontaires ; chez Borelli, en règle générale, l'âme semble être une sorte de premier moteur qui donne à distance, on ne sait trop comment, une impulsion initiale déclenchant un enchaînement de mécanismes.

En troisième lieu, du point de vue épistémologique, l'horloge de Rohault est une métaphore abstraite ; chez Perrault, des analogies associent, au moins en principe, structure et fonction ; Borelli, dans la première partie de son ouvrage, se sert de la théorie des machines simples comme d'un modèle pour calculer les forces nécessaires à certains mouvements animaux : et, aussi fantaisistes que soient les explications de la deuxième partie, elles semblent régulées par la philosophie mécanique qui est celle de Borelli.

Le détail de nos analyses aura fait comprendre que ces variations ne sont pas concomitantes, autrement dit que l'option prise sur tel point ne détermine pas l'option qui sera prise sur tel autre point. En ce sens, il est vraisemblable que, par-delà l'étude particulière de tel ou tel texte, la compréhension des explications machiniques qui interviennent dans un texte du XVII^e siècle supposera toujours qu'on précise non seulement à quelle machine on a affaire, mais aussi comment cette machine est utilisée et à quelle espèce d'âme elle s'articule.

Sophie Roux

Université Pierre Mendès France - Grenoble 2 / Institut universitaire de France