Revue d'histoire des sciences

TOME 78 - 2025

SOIXANTE-DIX-HUITIÈME ANNÉE

Revue semestrielle
publiée avec le concours du CNL
et soutenue par l'Institut des sciences humaines et sociales du CNRS

FONDATION POUR LA SCIENCE

ARMAND COLIN

Revue d'histoire des sciences
CAPHÉS (UAR 3610, CNRS – ENS-PSL)
45, rue d'Ulm - 75005 Paris - France
Tél. : +33(0)1 44 32 29 59
Email : contact-rhs@ens.fr
Pages web : https://revues.caphes.ens.fr/rhs/

FONDATEUR

Henri Berr (1863-1954), en 1947
La *Revue d'histoire des sciences*, propriété de la Fondation « Pour la science » – Centre international de synthèse, accueille des travaux concernant l'ensemble des sujets, domaines, méthodes et périodes de l'histoire des sciences.

Périodicité
revue semestrielle

Impression
Imprimerie Dupli-print
95330 Domont

Dépôt légal
décembre 2025, N°

Parution
décembre 2025

ISSN
0151-4105

Revue
d'histoire
des sciences

78-2 | juillet-décembre 2025

Sommaire | *Contents*

DOSSIER

Malebranche et les sciences Introduction

Sandra Bella [*] et Claire Schwartz [**]

La place de Malebranche dans l'histoire de la philosophie est bien établie et assez régulièrement réévaluée. Si quelques-unes de ses thèses les plus célèbres, comme celle de la « vision en Dieu », n'ont jamais réellement cessé de provoquer perplexité et scepticisme, certains de ses raisonnements relatifs à la spiritualité, à la moralité mais également à la causalité ou à la perception font encore partie du répertoire des arguments dont se servent à intervalles réguliers les philosophes pour formuler les problèmes attenant à ces différents domaines.

En revanche, la relation de Malebranche aux sciences, sans être entièrement ignorée des philosophes et des historiens des sciences, est généralement considérée comme secondaire : la vérité et la richesse de la pensée de l'oratorien serait ailleurs, et sa place dans l'histoire des sciences serait relativement marginale. Lorsque Léon Brunschvicg, Pierre Duhem, Paul Mouy ou Paul Schrecker consacrèrent quelques études à certains aspects de l'optique, de la physique ou des mathématiques de Malebranche au début du XX^{e} siècle, ces publications durent probablement apparaître comme relativement marginales par rapport aux travaux consacrées alors au philosophe et qui s'employaient

* Sandra Bella, archives Henri-Poincaré, 91, avenue de la Libération, 54 000 Nancy. Email : bellusky@hotmail.com.
** Claire Schwartz, institut de recherches philosophiques (IRePh), université Paris-Nanterre, 200, av. de la République, 92 000 Nanterre. Email : cschwartz@parisnanterre.fr.

davantage à le situer dans l'histoire du spiritualisme français [1]. Une raison peut expliquer ce relatif désintérêt pour cet aspect de la pensée de Malebranche : ses textes et manuscrits ayant trait à la science de son temps n'étaient pas encore bien connus ni diffusés. Le livre VI de *De la recherche de la vérité*, ses deux derniers « Éclaircissements » et les « Lois pour la communication des mouvements » – ces textes étant tous regroupés dans la dernière édition de la *Recherche de la vérité* de 1712 – constituaient alors les documents sur lesquels les historiens de la philosophie et des sciences pouvaient s'appuyer pour analyser ses hypothèses sur les questions d'optique, de mécanique ou de mathématiques.

L'important travail d'édition des œuvres complètes de Malebranche commencé à la fin des années 1950 sous la direction d'André Robinet [2] pour la maison Vrin avait notamment pour objet de restituer divers aspects relativement méconnus de sa pratique scientifique grâce à la publication de manuscrits mathématiques et physiques regroupés pour l'essentiel dans les tomes XVII-1 (*Pièces jointes et écrits divers*) et XVII-2 (*Mathematica : Malebranche et la réforme mathématique en France de 1689 à 1706*), ainsi que des éléments de sa correspondance auxquels est consacré le tome XIX (*Correspondance et actes*). A. Robinet et Pierre Costabel, qui a dirigé l'édition du tome XVII-2, ont ainsi contribué à renouveler de manière décisive notre connaissance de la pratique malebranchiste des sciences, par la mise à disposition de documents peu consultés jusque-là et appartenant pour l'essentiel au fonds de manuscrits de la Bibliothèque nationale, d'une part, et par l'écriture de nombreux articles – la plupart étant publiés par la *Revue d'histoire des sciences* – et de quelques ouvrages ayant pour objet de réévaluer la place de Malebranche dans l'histoire des sciences et la place des sciences dans son œuvre à l'aune de ce nouveau matériau, d'autre part. Nous pensons en particulier à l'ouvrage d'A. Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences* (1970) ainsi qu'à ses articles « Le groupe

1 - Pierre Duhem, L'optique de Malebranche, *Revue de métaphysique et de morale*, 23 (1916), 37-91 ; Paul Mouy, *Les lois de la chute des corps d'après Malebranche* (Paris : Vrin, 1927) ; Paul Schrecker, Arnauld, Malebranche, Prestet et la théorie des nombres négatifs, *Thalès : Recueil annuel des travaux de l'institut d'histoire des sciences et des techniques de l'université de Paris*, 2 (1935), 82-90 ; Léon Brunschvicg, *Les Étapes de la philosophie mathématique* (Paris : Alcan, 1912), chap. 8.

2 - Nicolas Malebranche, *Œuvres complètes*, dir. André Robinet (Paris : Vrin, 1958-1990).

malebranchiste introducteur du calcul infinitésimal en France» (1960), «La philosophie malebranchiste des mathématiques» (1961) ou «Jean Prestet ou la bonne foi cartésienne» (1960), tous parus dans la *Revue d'histoire des sciences*[3]; c'est également dans cette revue que P. Costabel, de son côté, se consacre à un travail d'édition de quelques textes inédits complétant celui du tome XVII-2 des *Œuvres complètes*[4].

Les différentes contributions de ce numéro s'appuient sur ce travail mené à l'occasion de la publication des *Œuvres complètes*, pour l'enrichir de nouvelles découvertes et perspectives quitte à contester, ou tout du moins à nuancer certaines des hypothèses proposées notamment par A. Robinet et P. Costabel sur la pratique scientifique de Malebranche, ce qui nous semble être le meilleur hommage qui puisse leur être rendu. Ces contributions peuvent se répartir selon leur objet, tout d'abord : celle de Philippe Hamou a trait à la théorie de la vision, celle de Christophe Schmit à la théorie du mouvement des corps, et les trois autres de Catherine Goldstein, Sandra Bella et Claire Schwartz aux mathématiques. Au travers de ces cinq contributions, il s'agit également de penser dans sa globalité ce que l'expression «Malebranche et les sciences» peut signifier. Une première approche consiste à réévaluer dans quelle mesure la pensée de l'oratorien est informée par des éléments et des questionnements scientifiques constituant le soubassement de ses thèses philosophiques. Dans ce cadre, la contribution de P. Hamou se propose d'analyser la manière dont les conceptions proprement malebranchistes sur la théorie de la lumière et des couleurs et la psychologie de la vision instruisent notamment le concept de jugement naturel, et de ce qui se fait «en nous, sans nous» à cette occasion, ce qui n'est pas sans lien avec la célèbre hypothèse polémique de la «vision de toute chose en Dieu» habituellement abordée en termes purement méta-

3 - André Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences : L'œuvre scientifique* (Paris : Vrin, 1970); *id.*, Le groupe malebranchiste introducteur du calcul infinitésimal en France, *Revue d'histoire des sciences*, 13 (1960), 287-308; *id.*, La philosophie malebranchiste des mathématiques, *Revue d'histoire des sciences*, 14 (1961), 205-254; *id.*, Jean Prestet ou la bonne foi cartésienne (1648-1691), *Revue d'histoire des sciences*, 13 (1960), 95-104.

4 - Pierre Costabel, Deux inédits de la correspondance indirecte Leibniz-Reyneau, *Revue d'histoire des sciences*, 2 (1949), 311-332; *id.*, Une lettre inédite du marquis de L'Hospital sur la résolution de l'équation du troisième degré, *Revue d'histoire des sciences*, 18 (1965), 29-43.

physiques. Une deuxième approche consiste à resituer la place de Malebranche dans l'histoire des sciences, et de ce point de vue, une attention toute particulière est accordée à la notion de « groupe malebranchiste » évoquée par A. Robinet dans l'un de ses articles, dans le prolongement de l'édition du tome XVII-2, et qu'il définissait comme un ensemble de mathématiciens regroupés autour de Malebranche et dont l'activité serait toute entière tournée vers la diffusion du calcul leibnizien en France à la fin du XVII^e^ siècle. Les articles de C. Goldstein et de S. Bella se proposent de réactualiser cette notion de groupe malebranchiste en lui attribuant de nouveaux objets, de nouveaux résultats et dès lors, d'en repenser la composition. Si l'on estime en effet que le calcul infinitésimal n'était pas le seul centre d'intérêt des mathématiciens regroupés autour de Malebranche et que leur rôle ne se limite pas à former, en quelque sorte, la courroie de transmission du calcul leibnizien en France, il y a lieu d'y intégrer Jean Prestet, qui fut un des premiers collaborateurs de Malebranche, et ses contributions remarquables et singulières en arithmétique et en analyse diophantienne (dans ses *Éléments des mathématiques* et plus tard dans ses *Nouveaux éléments des mathématiques*) que nous expose l'article de C. Goldstein. La réception du calcul infinitésimal par ce groupe de savants que se propose de présenter S. Bella autour de la notion centrale de polygone infinitangulaire fait également apparaître dans quelle mesure les membres du groupe malebranchiste étaient déjà familiers d'un certain nombre de techniques calculatoires qu'ils s'étaient eux-mêmes employés à préciser et à expliciter. Ces deux contributions restituent à Malebranche et à ses proches une identité mathématique propre, dont les centres d'intérêt et les résultats ne peuvent se laisser définir dans les termes d'une réception passive des algorithmes de savants étrangers, et en particulier de Leibniz. L'article de C. Schwartz se propose alors d'éclairer ces pratiques mathématiques singulières orientées vers la recherche de procédures calculatoires en les liant aux hypothèses méthodologiques constitutives d'une philosophie des mathématiques de Malebranche, dont l'unité apparaît dès que l'on renonce à la penser uniquement à partir de l'événement que fut son adhésion au calcul infinitésimal. La singularité des hypothèses malebranchistes dans le domaine de la science ne se limite toutefois pas aux mathématiques ou à l'optique : l'article de C. Schmit documente en particulier le « malebranchisme physique » que se réapproprient divers scientifiques du XVIII[e] siècle et qui ne peut se réduire à une reprise des lois du mouvement et de la cosmologie cartésiennes dont il ne s'agirait que d'amender quelques hypothèses auxiliaires ; ce sont ses lois et ses méthodes qu'il s'agit de corriger en profondeur. Ces différentes contributions ne prétendent pas épuiser les différents aspects de la relation de Malebranche aux sciences ; par exemple, son rapport à ce qu'on pourrait appeler les sciences de la vie est également un objet d'études pour les historiens des sciences. D'autre part, d'autres manuscrits restent encore à publier. L'ambition de ce numéro est de proposer un nouveau regard sur ce grand nom de la philosophie française à la fois bien situé et en partie méconnu.

Voir et regarder

Optique et métaphysique de la vision chez Nicolas Malebranche

Philippe Hamou *

Résumé : Nicolas Malebranche a développé une théorie originale de la vision, mobilisant des considérations optiques raffinées pour défendre la thèse métaphysique, d'apparence exorbitante, selon laquelle les corps extérieurs ne sont jamais perçus directement dans le monde mais seulement à travers leurs idées dépeintes dans une « étendue intelligible ». Cette doctrine fameuse de la « vision en Dieu » détermine une importante distinction entre voir et regarder : Regarder signifie diriger ses yeux vers un objet matériel, tandis que voir est une activité spirituelle où l'esprit, affecté par les sensations, perçoit une version intelligible de l'objet en Dieu. Deux importantes séries d'arguments « optico-philosophiques » sont mobilisés pour défendre cette thèse. Les premiers relèvent de la critique du réalisme sensoriel, développée surtout dans le livre I de la *Recherche de la vérité*, où Malebranche montre notamment que couleurs et lumières ne sont pas des propriétés intrinsèques des corps ni même des signes adéquats de leurs propriétés physiques. La seconde série d'arguments s'attache aux inférences tacites à l'œuvre dans la vision des propriétés spatiales des objets. D'abord considérés comme des jugements réellement opérés par l'esprit humain, mais sédimentés et devenus habituels, ces « jugements naturels » sont finalement caractérisés comme des « sensations composées », produites par Dieu selon des lois générales, et enveloppant des raisonnements que Dieu seul est en mesure de faire. Bien que centrée sur l'intervention divine, cette approche, inspirée du traitement cartésien de la « géométrie naturelle », anticipe des modèles cognitifs modernes où des mécanismes cérébraux préformés traitent les informations visuelles.

Mots-clés : Malebranche ; optique ; vision ; lumière ; couleur ; sensation ; jugement naturel ; géométrie naturelle.

Summary: *Nicolas Malebranche developed an original theory of vision, drawing on sophisticated optical considerations to defend the seemingly outlandish metaphysical thesis that external bodies are*

* Philippe Hamou, Centre d'études cartésiennes, Sorbonne Université, facultés des lettres, 1, rue Victor-Cousin, 75 005 Paris. Email : philippe.hamou@sorbonne-universite.fr.

never perceived directly in the world but only through their ideas depicted in an "intelligible extension." This famous doctrine of "vision in God" establishes an important distinction between seeing and looking: looking means directing one's eyes towards a material object, while seeing is a spiritual activity whereby the mind, affected by sensations, perceives an intelligible version of the object in God. Two important series of "optico-philosophical" arguments are employed to defend this thesis. The first involves a critique of sensory realism, developed mainly in book I of De la recherche de la vérité, *where Malebranche shows in particular that colours and lights are neither intrinsic properties of bodies, nor even adequate signs of their physical properties. The second series of arguments focuses on the tacit inferences at work in the perception of the spatial properties of objects. Initially considered to be judgements actually made by the human mind, that have become habitual, these "natural judgements" are ultimately characterised as "composite sensations," produced by God according to general laws, and involving reasoning that only God is capable of. Although centred on divine intervention, this approach, inspired by the Cartesian treatment of "natural geometry," anticipates modern cognitive models in which pre-formed brain mechanisms process visual information.*

Keywords: *Malebranche; optics; vision; light; colour; sensation; natural judgement; natural geometry.*

Comme beaucoup de philosophes de son temps, Malebranche manifesta un intérêt précoce et constant pour l'optique et la théorie de la vision. L'on rappelle souvent que sa vocation philosophique s'est éveillée à la lecture du *Traité de l'homme* de Descartes, un ouvrage qui comporte d'importantes considérations sur la physiologie de la vision [1]. Malebranche conserva cet intérêt tout au long de sa carrière philosophique, se tenant au courant des nouveaux développements en optique, tels que la découverte de la tache aveugle par Edme Mariotte, la théorie de la lumière de Christian Huygens ou les expériences prismatiques d'Isaac

1 - Malebranche a découvert *L'Homme* au moment de sa publication posthume en 1664 et en a été fortement marqué. Un récit de cette rencontre intellectuelle est donné par le père André dans sa biographie de l'oratorien, *in* Nicolas Malebranche, *Œuvres complètes*, dir. André Robinet (Paris : Vrin, 1958-1990), t. XVIII, 44-50.

Newton [2]. Ses propres contributions à l'optique sont loin d'être anecdotiques. Analysant la lumière comme un phénomène vibratoire périodique et recourant à l'analogie avec les sons, il associe très justement les couleurs aux fréquences (la « promptitude ») des vibrations [3]. Il s'agit là d'une étape importante, bien que non mathématisée, vers la théorie de la lumière et des couleurs qui s'est imposée au XIX^e^ siècle chez Young, Helmholtz et Fresnel [4]. Sa théorie de la vision, et notamment sa doctrine du jugement naturel, qui nous occupera plus particulièrement dans ces lignes, a aussi suscité l'intérêt des historiens des sciences de la cognition, qui ont vu chez Malebranche « la première tentative sérieuse de fournir une solution adéquate au problème extrêmement complexe de la théorie informationnelle [5] [propre à la connaissance perceptive] ».

Il faut cependant noter que pour Malebranche lui-même, l'optique, tout comme les autres sciences physiques et mathématiques, ne vaut la peine d'être étudiée que pour ce qu'elle peut enseigner sur la nature humaine et sur son union à Dieu. Tout autre usage est considéré comme oiseux : « Les hommes ne sont pas nés pour devenir astronomes ou chimistes, pour passer toute leur vie pendus à une lunette ou attachés à un fourneau [6]. » Il n'en reste pas moins que les considérations optiques jouent un rôle particulièrement important dans l'œuvre philosophique de

2 - Malebranche est familier du *Traité de la lumière* de Huygens (1690). Il rapporte et analyse les expériences de Mariotte sur la tâche aveugle et les débats qu'ils ont suscité sur le siège de la vision, notamment dans le dernier « éclaircissement » de la *Recherche de la vérité*, entièrement consacré à la physiologie de la vision, en 1712 (Malebranche, Éclaircissement XVII, *op. cit. in* n. 1, t. III, 324-325). Dès sa parution, il lit la traduction latine que Samuel Clarke avait donnée de l'*Optique* de Newton, parue en 1706, et il semble avoir lui-même entrepris d'en vérifier les expériences. Il s'y réfère dans ses révisions du XVI^e^ éclaircissement de la *Recherche de la vérité*. Voir André Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences* (Paris : Vrin, 1970), 399-408.

3 - Cette théorie est présentée dans un mémoire lu à l'Académie des sciences en 1699, puis publié au titre de XVI^e^ éclaircissement dans la 5^e^ éd. de la *Recherche de la vérité* en 1700.

4 - Sur l'importance de Malebranche dans cette histoire des théories ondulatoires de la lumière, voir Paul Mouy, *Le Développement de la physique cartésienne : 1646-1712* (Paris : Vrin, 1934) ; Pierre Duhem, L'optique de Malebranche, *Revue de métaphysique et de morale*, 23 (1916), 37-91, et plus récemment Olivier Darrigol, *A history of optics from Greek antiquity to the nineteenth century* (Oxford University Press, 2012). *Le Traité de la lumière* de Huygens proposait déjà une théorie ondulatoire de la lumière, mais sans associer les couleurs aux fréquences des vibrations.

5 - Theo Meyering, *Historical roots of cognitive science* (Boston : Kluwer, 1989), 99.

6 - Malebranche, préface à la *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 1, t. I, 21.

Malebranche. Elles sont omniprésentes dans la première partie de la *Recherche de la vérité*; et les deux derniers « éclaircissements » (ajoutées respectivement en 1700 et 1712) leur sont entièrement consacrées. Comme l'écrit Malebranche alors :

> Il suffit de bien savoir comment on voit les objets pour être en état de découvrir une infinité de vérités, non seulement de Physique, mais encore de Métaphysique, touchant la nature des idées, et la bonté, la généralité, et la sagesse incompréhensible de la Providence divine [7].

Dans cet article je me propose d'explorer et d'évaluer les implications de cette affirmation, en particulier en essayant de montrer comment la doctrine métaphysique, distinctivement malebranchienne, de la « vision en Dieu » a pu en effet trouver un soubassement dans des considérations proprement optiques, relevant de la physique de la lumière et des couleurs, de la physiologie et psychologie de la vision.

Perception sensorielle et vision en Dieu

Lorsque Malebranche évoque la genèse de sa doctrine de la vision en Dieu, il se réfère souvent à la double influence d'Augustin et de Descartes [8]. De Descartes, il explique avoir retenu l'idée selon laquelle les corps ne consistent qu'en extension, et les qualités sensorielles telles que les couleurs ne « sont point en dehors de l'âme qui les sent [9] ». D'Augustin il reprend la thèse selon laquelle toute notre connaissance est dérivée des idées exemplaires, archétypes de toutes les réalités, qui résident dans l'intellect de Dieu. Malebranche suggère parfois que si Augustin avait eu une meilleure maîtrise de l'optique et une meilleure compréhension du fait que les qualités sensorielles, comme la couleur, ne sont pas des qualités réelles, « répandues » sur les corps, il aurait été naturellement conduit à la doctrine selon laquelle les corps ne sont pas perçus dans le monde, mais, tout comme les réalités intelligibles, nécessairement dans l'intellect

7 - Malebranche, *op. cit. in* n. 1, t. III, 307.
8 - Par exemple dans la préface des *Entretiens sur la métaphysique et sur la religion* : Malebranche, *op. cit. in* n. 1, t. XII-XIII, 16-20.
9 - Malebranche, *op. cit. in* n. 1, t. III, 56.

de Dieu, c'est-à-dire dans une « étendue intelligible », entièrement distincte de l'espace extérieur du monde créé [10]. On reconnaît ici la fameuse doctrine de la « vision en Dieu » – une doctrine cruciale pour le projet néo-augustinien de Malebranche, qui entend manifester l'union intime qui lie l'esprit de l'homme à celui de Dieu, une union qui se manifeste dès le premier acte de perception sensorielle.

Cette doctrine est parfois présentée par Malebranche sur la base d'une intéressante distinction sémantique entre les verbes « voir » et « regarder ». Cette distinction va nous servir d'entrée dans le dispositif théorique et métaphysique singulier que Malebranche met en place pour penser la vision dans ses dimensions à la fois physiques et métaphysiques. Lorsque nous « regardons » le soleil, c'est-à-dire lorsque, dans l'univers matériel, nous dirigeons notre organe sensoriel, nos yeux, vers cet immense corps créé que nous appelons le soleil, nous ne le « voyons » pas vraiment selon Malebranche, au sens où ce n'est pas le soleil réel lui-même qui fait impression sur notre esprit. Ce avec quoi nous sommes directement en rapport dans la vision, n'est pas un corps et son extension matérielle, mais une certaine portion de l'étendue intelligible, laquelle selon Malebranche, ne peut exister qu'en idée, un « soleil intelligible » donc, lequel affecte notre âme et la modifie en y produisant une intense « sensation » de lumière. Parce que ce soleil intelligible « représente » le soleil corporel qui a été créé sur son modèle, il contribue à nous le faire connaître mais cette connaissance est indirecte et ne passe pas par une authentique *expérience* du soleil matériel. On peut aisément s'en persuader lorsqu'on se rappelle ce que sont les dimensions réelles de ce dernier,

10 - Voir Malebranche, préface aux *Entretiens sur la métaphysique et sur la religion*, *op. cit. in* n. 1, t. XII-XIII, 20 : « J'avoue que saint Augustin n'a jamais dit qu'on voyait les corps en Dieu. Il n'a eu garde de le dire, lui qui croyait qu'on voyait les objets en eux-mêmes ou par des images corporelles ; et que les couleurs qui les rendent visibles, étaient répandues sur leur surface. Assurément si l'on voit les corps en eux-mêmes, ce n'est pas en Dieu qu'on les voit ; cela est clair. Mais s'il est démontré, comme je le crois, qu'on ne les voit point en eux-mêmes et que les traces qu'ils impriment dans le cerveau, ne leur ressemblent nullement, comme le savent tous ceux qui ont étudié l'optique : s'il est certain de plus que la couleur n'est que la perception par laquelle l'âme les voit, je soutiens que suivant les principes de saint Augustin, on est obligé de dire que c'est en Dieu qu'on voit les corps. » Sur la manière dont Malebranche « augustinise » l'héritage cartésien, voir en particulier Emanuela Scribano, Malebranche entre Descartes et saint Augustin, *in* Delphine Kolesnik-Antoine (dir.), *Qu'est-ce qu'être cartésien ?* (Paris : ENS Éditions, 2013).

aux dires des astronomes. Eraste expose cette doctrine de la manière la plus concise dans le 3e entretien des *Conversations chrétiennes* :

> Lorsque je regarde les étoiles, je vois les étoiles ; lorsque je regarde les étoiles du monde matériel, lorsque je tourne les yeux du corps vers le Ciel, mon esprit voit les étoiles du monde intelligible ; & je juge que ces étoiles matérielles que je regarde, sont semblables à celles du monde intelligible que je vois. Car le Soleil que je vois est tantôt grand et tantôt petit, et il n'est jamais plus grand qu'un cercle intelligible de deux ou trois pieds de diamètre. Mais le soleil matériel est toujours le même : il est selon le sentiment de quelques astronomes environ un million de fois plus grand que la terre. Ce n'est donc pas celui-là que je vois dans le temps où je le regarde [11].

Ainsi, *regarder le soleil* consiste à diriger nos yeux (nos organes sensoriels) vers cet immense corps créé que nous appelons le soleil, tandis que *voir le soleil*, c'est, à l'occasion de cette mise en regard, avoir en l'esprit une certaine portion de « l'étendue intelligible » d'un ou deux pieds de large modifiant notre âme en y produisant une sensation, c'est-à-dire une certaine affection de l'âme, un état sensoriel, dont nous avons obscurément « conscience ».

Afin de prouver que les corps réels vers lesquels nous dirigeons notre regard ne sont pas réellement vus, Malebranche mentionne parfois un dispositif optique, une lunette prismatique à six côtés à travers laquelle on regarde une seule pièce de

11 - Malebranche, *op. cit. in* n. 1, t. IV, p. 62. La distinction entre *voir* et *regarder* opère également de façon explicite dans la Réponse à Régis, par exemple au chap. II, *ibid.*, t. XVII-1, 289 : « Quand ouvrant les yeux, je regarde une maison, certainement la maison que je vois ou ce qui est l'objet immédiat de mon esprit n'est nullement la maison que je regarde. Car je pourrais voir ce que je vois quand même la maison ne serait plus puisque pour voir une maison il suffit que l'idée d'étendue modifie l'âme par des couleurs distribuées de la même manière que si je regardais actuellement une maison. »

monnaie [12]. À travers ce dispositif la pièce apparaît sextuplée. Il devrait être clair pour quiconque qu'au moins cinq des six pièces de monnaie qui sont vues à travers le prisme ne sont pas réellement là, dans le monde extérieur – elles sont de purs mirages de nos facultés, tout comme des images spéculaires, et comme il n'y a pas de différence significative entre chacune des six images présentées par le prisme, il est probable qu'aucune des six n'ait d'existence autre qu'idéale... Il faut noter que pour voir la pièce de monnaie ou le soleil, il n'est pas même nécessaire qu'il y ait quelque chose à regarder dans le monde. Nous pourrions très bien imaginer que l'univers qui nous entoure soit anéanti. Nous continuerions à voir son archétype intelligible, pour autant que nos organes sensoriels, et par conséquent notre âme, soient affectés de la même manière [13]. La possibilité logique saisie dans cette hypothèse d'annihilation (qui fut mobilisée également par Hobbes dans un passage célèbre de son *De corpore*) est bien sûr une conséquence naturelle du traitement moderne, mécanistique, de la sensation. Malebranche est d'autant plus attaché à faire reconnaître cette possibilité que son occasionnalisme strict interdit une influence causale directe des corps sur notre esprit. Dieu seul nous donne les sensations appropriées et la présence des corps, ou même les modifications de notre cerveau, ne sont que des « occa-

12 - Voir la lettre de Malebranche à Arnauld du 16 juillet 1694, *op. cit. in* n. 1, t. VIII-IX, 1011 : « Supposé, Monsieur, que vous eussiez sur le nez une lunette à six facettes, & que vous vissiez six pistoles, serait-ce six pistoles réelles & matérielles que vous verriez immédiatement ? Ne serait-ce pas d'autres pistoles ? Or ces six pistoles seraient formellement étendues selon vous. Car c'est sur ce fondement que vous m'accusez d'admettre en Dieu de l'étendue formelle : & ces six pistoles idéales, ou pour le moins cinq seraient des modalités de votre âme. Car, selon vous, ce sont ces modalités qui font représentatives des objets, & même de l'infini. Voilà donc aussi votre âme formellement étendue, & par conséquent matérielle, divisible, mortelle, &c ». Voir également un argument approchant, emprunté à l'expérience des rêves : « La preuve qu'on ne voit point les objets en eux-mêmes, est évidente : car on en voit souvent qui n'existent point au-dehors, comme lorsqu'on dort, ou que le cerveau est trop échauffé par quelque maladie. Ce qu'on voit alors n'est certainement pas l'objet, puisque l'objet n'est point, et que le néant n'est pas visible : car voir rien et ne point voir, c'est la même chose. C'est donc par l'action des idées sur notre esprit que nous voyons les objets » (Malebranche, *Entretien d'un philosophe chrétien et d'un philosophe chinois sur l'existence & la nature de Dieu*, *op. cit. in* n. 1, t. XV, p. 9.

13 - Malebranche, préface aux *Dialogues sur la métaphysique et ... sur la mort*, *op. cit. in* n. 1, t. XII-XIII, 19 : « Je suppose que quand tous les corps qui nous environnent seraient anéantis, nous pourrions les voir ; et que nous les verrions effectivement comme nous les voyons, si leurs idées nous affectaient comme elles nous affectent à leur présence ».

sions» pour lui de le faire, et non des sources causales de notre sensation.

Tout ceci peut sembler conduire à assigner à Malebranche un point de vue typiquement *représentationnaliste*, qui, s'appuyant sur l'existence des illusions d'optique et des hallucinations, affirme que notre accès à la réalité visuelle n'est pas direct, mais nécessairement médié par une entité mentale qui serait le seul objet immédiat de nos perceptions. Mais la doctrine de Malebranche ne se laisse pas aisément caractériser ainsi [14], car sa doctrine des idées, issue d'une tradition augustinienne ou platonicienne, n'a pas grand-chose à voir avec une théorie des idées d'inspiration empiriste comme celle qu'on peut trouver chez Locke, où l'idée est d'abord et avant tout un contenu de sensation. Le fait est que Locke, qui consacra un petit ouvrage critique à l'examen de la vision en Dieu de Malebranche [15], est resté entièrement réfractaire aux conceptions de l'idée proposée par Malebranche et à l'importante distinction conceptuelle que Malebranche défend entre idée et sensation. L'idée selon Malebranche nous fait connaître l'extension infinie et ses propriétés en nombre infini, elle ne peut trouver place dans nos esprits finis. Il faut nécessairement qu'elle se situe hors de nos esprits dans un monde intelligible, et néanmoins il faut qu'elle soit apte à agir sur nos esprits – c'est cette double condition qui conduit Malebranche à affirmer que les idées n'existent que dans l'intellect divin. Lorsque nous voyons un corps, non seulement nous le sentons, mais nous le percevons comme étendu de telle ou telle manière : quelque chose de sa véritable nature géométrique est intellectuellement appréhendé. Cela signifie que la vision sensorielle implique, outre une sensation (simple ou composée)

14 - Pas plus que son opposition à Arnauld ne se laisse aisément ramener à l'opposition entre «réalisme indirect» et «réalisme direct». Sur ces points, voir en particulier Steven Nadler, Malebranche's theory of perception, *in* E. Kremer (dir.), *The Great Arnauld and some of his philosophical correspondents* (Toronto : University of Toronto Press), 108-128, ainsi que *id.*, *Malebranche and ideas* (Oxford University Press, 1992).

15 - John Locke, *An examination of P. Malebranche's opinion of seeing all things in God*, in *The Posthumus works of John Locke*, éd. P. King et A. Collins (Londres : A. & J. Churchill, 1706), trad. française de J. Pucelle et J.-M. Vienne, *Examen de la vision en Dieu de Malebranche* (Paris : Vrin, 2013).

la perception d'une *idée* dans l'étendue intelligible [16] (autrement dit l'intellect divin). Ainsi, la distinction entre l'appréhension *sensorielle* des corps et la perception *intellectuelle* des idées n'est-elle pas aussi tranchée chez Malebranche qu'elle ne l'est chez Augustin ou Thomas d'Aquin. Qu'il s'agisse de vision intellectuelle ou de vision sensorielle, nous *voyons l'étendue intelligible* – c'est la même idée d'extension qui est présente à l'esprit, l'affecte. Ce qui fait la différence, c'est la netteté de cette affection : lorsque nous nous contentons de penser l'extension, par exemple lorsque nous essayons de l'imaginer les yeux fermés, son idée ne fait qu'effleurer notre esprit et c'est ce que Malebranche appelle la « perception pure », représentant une extension homogène, immense et partout la même. Mais lorsque, en ouvrant les yeux, l'âme est affectée par l'idée d'extension intelligible de façon plus vive, elle se voit diversement « modifiée » par des couleurs ou de la lumière, et par conséquent, nous voyons des corps individués dans l'espace [17]. La manière dont se fait cette individuation (qui revient à diviser en parties qualitativement distinctes une étendue intelligible supposément infinie et homogène) soulève des difficultés d'interprétation redoutables, qui vont conduire Malebranche à élaborer sa doctrine des « idées efficaces ». Faut-il supposer (comme il le fait dans le x^e^ éclaircissement de la *Recherche de la vérité*), que l'âme, en réponse à l'impression sensorielle, « attache » des couleurs à l'idée d'extension intelligible, les étalant sur elle comme un peintre applique des couleurs sur une toile [18] ? Ou faut-il plutôt dire, comme dans les *Entretiens sur la métaphysique et sur la religion* ou dans la troisième lettre à Dortous de Mairan, que

16 - Sur ce double ingrédient sensoriel et eidétique de la perception, voir par exemple Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre III, chap. II, § 6, *op. cit. in* n. 1, t. I, 445.

17 - Voir par exemple Malebranche, *Conversations chrétiennes*, *op. cit. in* n. 1, t. IV, 75-76 : « Lorsque l'idée de l'étendue affecte ou modifie l'esprit d'une perception pure, alors l'esprit conçoit simplement cette étendue. Mais lorsque l'idée de l'étendue touche l'esprit plus vivement, et l'affecte d'une perception sensible, alors l'esprit voit ou sent l'étendue ». Un texte parallèle des *Entretiens sur la métaphysique et sur la religion* (I^er^ entretien, § x) semble suggérer que c'est par la couleur, que s'opère cette intensification de l'affection. L'âme est modifiée « par le sentiment de quelque couleur. Car l'étendue intelligible ne devient visible, et ne représente tel corps en particulier, que par la couleur » (Malebranche, *op. cit. in* n. 1, t. XII-XIII, 46).

18 - Malebranche, Éclaircissement x, *op. cit. in* n. 1, t. III, 154, et *idem*, Réponses au livre de M. Arnauld Des vraies et fausses idées, *ibid.*, t. VI, 78.

c'est l'idée d'extension elle-même qui exerce son « efficace » sur l'âme, l'affectant de mille manières différentes, en lui peignant des couleurs ?

> Quand je pense à l'étendue les yeux fermés, alors l'idée de l'étendue me la représente immense et partout la même, parce qu'elle affecte mon esprit partout d'une pure perception, <et> si légère qu'il me semble qu'elle n'est rien et ne représente rien de réel. J'appelle cette étendue intelligible, parce que cette idée ne m'affecte point par mes sens. Mais dès que j'ouvre les yeux, je dis que c'est cette même idée, et non quelqu'autre, qui m'affecte des perceptions sensibles, qu'on appelle couleurs, rouge, vert, bleu : alors cette même idée devient sensible d'intelligible qu'elle étoit, c'est à dire qu'elle m'affecte de perceptions sensibles. Car la même idée peut par son efficace car tout ce qui est en Dieu est efficace, peut dis-je affecter l'âme de différentes perceptions [19].

Essayons donc de comprendre et d'approfondir en quel sens l'optique a pu intervenir dans l'élaboration de cette doctrine métaphysique pour le moins paradoxale. L'optique, explique Malebranche dans cette même lettre à Dortous de Mairan est la science qui nous « fait voir la différence extrême qui est entre les idées et les objets qu'elles représentent ». Elle nous fait voir aussi « qu'il n'y a qu'une intelligence infinie qui puisse en un clin d'œil faire une infinité de raisonnements instantanés tous réglés par la géométrie et les lois de l'union de l'âme et du corps [20]. »

Il y a ici deux thèses que nous considérerons successivement : d'une part l'optique nous apprend à distinguer les idées des ob-

19 - Lettre de Malebranche à Dortous de Mairan du 12 juin 1714, *op. cit. in* n. 1, t. XIX, 884.

20 - Lettre de Malebranche à Dortous de Mairan du 12 juin 1714, *op. cit. in* n. 1, t. XIX, 887. Comme nous le signale un relecteur anonyme, le propos doit aussi s'entendre dans le contexte propre à cette correspondance tardive : Malebranche, qui a parfois été accusé de déréaliser les corps et tendre ainsi vers le spinozisme, répond à Dortous sur le système de Spinoza qu'il estime vicié à la base en raison de la confusion entretenue par l'auteur de l'*Éthique* entre ce qu'on peut dire des idées et ce qu'on peut dire des choses qu'elles représentent. Tout particulièrement l'idée d'étendue est éternelle et nécessaire mais non pas l'étendue du monde créé qui n'existe que de manière contingente. L'optique est donc mobilisée dans ce contexte comme la science qui enseigne sans équivoque la distinction qu'il faut nécessairement faire entre les idées et leurs objets. Sur la relation Malebranche-Spinoza, voir en particulier Raffaele Carbone *et al.* (dir.), *Spinoza-Malebranche : À la croisée des interprétations* (Lyon : ENS Éditions, 2018).

jets matériels qu'elles représentent ; d'autre part elle manifeste l'action d'un jugement de Dieu réglé par la géométrie, s'opérant en nous sans nous.

Les enseignements de l'optique des modernes

La déprise du sensible

La première thèse inscrit Malebranche dans un mouvement d'idées modernes, celui de la contestation d'une forme de réalisme sensoriel qui était clairement à l'œuvre dans la pensée optique ancienne et médiévale. Selon ces vues anciennes, les choses extérieures, pourvu que les conditions de visibilité soient dans une bonne médiane, sont bien *telles* que nous les voyons [21]. Cette conviction qui est aussi celle du réalisme du sens commun, fait l'objet d'une critique en règle dans le livre I de la *Recherche de la vérité*. La croyance selon laquelle les sens nous donnent à voir les choses *telles qu'elles sont* y est dénoncée comme l'une des principales causes de nos erreurs, en physique comme en métaphysique. Cette critique rejoint sans doute celle qu'on trouvait chez Descartes et qu'on retrouvera chez bon nombre de ses successeurs à l'âge classique, mais l'on peut dire que Malebranche, s'appuyant sur des arguments optiques originaux, lui donne une forme de radicalité assez inédite [22]. Comme Malebranche l'explique au commencement de l'ouvrage, la critique des sens en général peut s'appuyer légitimement sur celle de la vision, parce que cette dernière est, de tous les sens, celui qui a la prétention cognitive la plus haute [23]. L'un des points saillants de

21 - Selon l'enseignement aristotélicien du *Traité de l'âme*, ce sont les formes mêmes du visible qui s'actualisent dans la sensation, ce qui explique que nous voyons les choses telles qu'elles sont. Les qualités sensibles que nous percevons, comme la couleur, sont donc des qualités « réelles » existant réellement dans les choses sensibles. Sur ce réalisme sensoriel et la manière dont il persiste dans la doctrine scolastique des espèces intentionnelles, voir Philippe Hamou, *Voir et connaître à l'âge classique* (Paris : Presses universitaires de France, 2004), chap. I.

22 - Ce point a été particulièrement souligné dans T. Schmaltz, Malebranche's Cartesianism and Lockean colors, *History of philosophy quarterly*, 12 (1995), 387-403.

23 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre I, chap. VI, *op. cit. in* n. 1, t. I, 79 : « La vue est le premier, le plus noble et le plus étendu de tous les sens ; de sorte que s'ils nous étaient donnés pour découvrir la vérité, elle y aurait seule plus de part que tous les autres ensemble. Ainsi il suffira de ruiner l'autorité que les yeux ont sur la raison pour nous détromper et pour nous porter à une défiance générale de tous nos sens. »

cette critique consiste à dénoncer l'illusion d'extériorité propre à l'exercice du sens visuel. Lorsque nous ouvrons les yeux, il nous semble voir les maisons et les étoiles dans le monde extérieur, or pour Malebranche cela est strictement impossible. Comme il l'explique dans la *Recherche de la vérité* (livre I, chap. XIV) l'âme, étant incapable de voyager hors de son corps, voit nécessairement les maisons et les étoiles *là où elles ne sont pas* [24]. Nous voyons (et par conséquent jugeons) les choses comme étant hors de nous, alors qu'il devrait être clair que le contenu de nos sensations visuelles ne peut être ailleurs que dans notre propre esprit. Lumière et couleurs ne sont pas dans le monde extérieur – elles ne sont même pas dans les yeux, ni dans le cerveau où plusieurs mouvements sont produits lorsque nous les voyons : en tant que sensations, elles appartiennent entièrement à l'âme, et ne sont que la manière dont elle se ressent elle-même lorsque les objets du monde extérieurs sont présentés aux yeux du corps.

Non seulement la couleur ne ressemble à rien dans la chose, mais elle n'en est pas même un indice stable, car on ne peut pas être sûr que le même objet se fasse voir pour tous et pour chacun toujours, de la même couleur. C'est sur ce point que Male-

24 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre I, chap. xiv, *op. cit. in* n. 1, t. I, 156 : « Il n'est pas raisonnable de croire que nos âmes soient dans les cieux, quand elles y voient des étoiles. Il n'est pas même croyable qu'elles sortent à mille pas de leur corps pour voir des maisons à cette distance. Il est donc nécessaire que notre âme voie les maisons et les étoiles où elles ne sont pas, puisqu'elle ne sort point du corps où elle est, et qu'elle ne laisse pas de les voir hors de lui. »

branche est sans doute plus radical que ses contemporains [25] dans l'affirmation d'une forme de subjectivisme sensoriel. Il se pourrait qu'une toute petite différence de constitution entre deux hommes ou entre deux états cérébraux d'un même homme se traduise par des sensations de couleurs totalement différentes. Malebranche illustre ce point par une intéressante considération d'optique physiologique au sujet des images rémanentes, ces impressions colorées qui subsistent après l'exposition de l'œil à une lumière vive, en passant successivement d'une couleur à une autre. Il souligne que tandis que l'ébranlement de la rétine occasionné par l'impact de la lumière diminue graduellement, les couleurs perçues dans l'image rémanente changent du tout au tout : « Les couleurs bleue, orangée et rouge que nous voyons, diffèrent entre elles bien autrement que du plus et du moins [26]. » Soulignons que le phénomène décrit trouverait dans la théorie physique de la lumière et des couleurs défendue par Malebranche une explication adéquate. Cette théorie, qui rapporte les couleurs à une grandeur scalaire, la « promptitude des vibrations » de la matière subtile, s'écarte significativement de celle de Descartes, en ce qu'elle n'associe plus la distinction des couleurs (chez Descartes celle des deux couleurs primitives, le bleu et le rouge), à une propriété dis-

25 - Une idée classique au sujet des qualités secondes qu'on trouve chez Locke, Arnauld et sans doute aussi Descartes est qu'à défaut d'être des représentations ressemblantes des corps, elles offrent des indicateurs fiables, et partant, comme Locke en vient à le dire, des idées « adéquates », de certaines différences physiques dans la microstructure des corps – différences qu'il est utile aux hommes de reconnaître mais qu'il leur est impossible de percevoir directement. L'on peut estimer qu'en « discrétisant » les différences physiques, à la manière du « patron rude » utilisé par les tapissières pour distinguer d'infimes nuances d'une même teinte en les « codant » pour ainsi dire avec des couleurs franches, les sensations colorées permettent globalement d'éviter des erreurs d'identification qu'une perception directe de la microstructure des corps ne manqueraient pas d'occasionner. Si Malebranche n'est pas étranger à ce type de considérations, insistant sur le caractère providentiel des qualités sensorielles (il écrit par exemple que « les sentiments de couleur ne nous sont donnés que pour distinguer les corps les uns des autres », Malebranche, *op. cit. in* n. 1, t. I, 154 ; cf. *ibid.*, t. XII, 98-99), son insistance sur la variabilité physiologique des sensations en tempère fortement l'optimisme. Sur Antoine Arnauld et son usage du modèle du patron rude dans son traité des *Vraies et fausses idées*, on consultera tout particulièrement J.-M. Beyssade, Sensation et idées : Le patron rude de Descartes à Arnauld, in *Études sur Descartes : L'histoire d'un esprit* (Paris : Seuil, 2001).

26 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre I, chap. xv, *op. cit. in* n. 1, t. I, 164.

crète[27] (le sens de rotation des particules globulaires du second élément) mais à une grandeur (la fréquence) qui admet une variation continue. Ainsi, le passage d'une sensation de couleur à une autre toute différente pourra résulter d'une différence minime dans la vitesse de vibration[28]. En conséquence (et cette conclusion ne laisse pas d'évoquer des conceptions ultérieures, auxquelles l'« Optique physiologique » de Helmholtz donnera une base expérimentale), les différentes sensations colorées (celles qui conduisent à voir un objet bleu, rouge ou orangé) ne sont pas strictement corrélées aux propriétés physiques stables des corps auxquels elles se rapportent (comme une texture corpusculaire de surface), car elles dépendent aussi dans une très large mesure des conditions physiologiques de la sensation, et notamment de l'existence de seuils perceptifs associés à certaines couleurs fondamentales. Ces seuils physiologiques, suggère Malebranche, peuvent différer de manière importante d'un individu à un autre (voire en différents temps dans le même individu) de telle sorte qu'il y a « quelque apparence que tous les hommes ne voient pas les mêmes couleurs dans les mêmes objets[29] ».

Malebranche propose pareillement au sujet des propriétés visuelles géométriques ou spatiales de considérer combien nous sommes mal équipés par les sens pour évaluer ce que sont les « vraies grandeurs » ou les « vraies distances » des objets. Comme il l'explique dans le texte cité plus haut des *Conversations chrétiennes*, nous ne voyons pas les étoiles ou le soleil tels qu'ils sont. Nous les voyons soit grands, soit petits, mais « jamais plus grands qu'un cercle intelligible de deux ou trois pieds », tandis que le soleil matériel ne change jamais, et qu'il est environ « un million plus grand que la terre ». Malebranche a bien sûr reconnu que ces qualités spatiales, contrairement aux couleurs et aux lumières, existent *hors de nous* au titre de propriétés déterminées de l'extension. Mais il insiste sur le fait que nous déterminons ces propriétés et les appliquons à des

27 - *Œuvres de Descartes*, éd. Charles Adam & Paul Tannery, nouvelle présentation, en co-édition avec le CNRS (Paris : Vrin, 1964-1974), t. VI, *Les Météores*, discours VIII, 325-344.

28 - Malebranche pense que ces différences sont probablement impossibles à déterminer avec exactitude : Malebranche, Éclaircissement XVI, *op. cit. in* n. 1, t. III, 258.

29 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre I, XIII, *op. cit. in* n. 1, t. I, 152.

corps particuliers d'une manière qui encore une fois dépend fortement de la constitution de nos organes, et de la façon dont ils interagissent avec les mouvements extérieurs. Même s'il est probable que tous les hommes ont des organes sensoriels structurellement similaires, ils peuvent néanmoins être très différents dans leur sensibilité aux impressions. Une rétine dont les fibres sont fines et délicates pourra être affectée par des impacts très petits ou faibles alors qu'une autre, plus rude, ne le sera pas – tout comme de solides gaillards se ressentent à peine des coups de poing qu'ils s'envoient par jeu, mais qui seraient capables « d'estropier des personnes délicates [30] ». Ainsi, le même objet, vu de la même distance, peut paraître plus détaillé et pour ainsi dire « plus grand [31] » à l'un qu'à l'autre. Cette différence dans la réponse organique de différents individus à des stimuli identiques fait dire à Malebranche qu'il « n'est pas certain qu'il y ait deux hommes dans le monde qui voient les objets de la même grandeur, et que quelquefois un même homme les voit plus grands de l'œil gauche que du droit [32] ».

La singularité et la contingence de notre monde visuel se manifestent également dans le fait que les propriétés spatiales des

30 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre I, XIII, *op. cit. in* n. 1, t. I, 149 : « Les coups de poing, par exemple, que les portefaix se donnent pour se flatter, seraient capables d'estropier des personnes délicates. Le même coup produit des mouvements bien différents, et excite par conséquent des sensations bien différentes, dans un homme d'une constitution robuste, et dans un enfant, ou une femme de faible complexion. Ainsi, n'y ayant pas deux personnes au monde, de qui on puisse assurer qu'ils aient les organes des sens dans une parfaite conformité, on ne peut pas assurer qu'il y ait deux hommes dans le monde, qui aient tout à fait les mêmes sentiments des mêmes objets. »

31 - Malebranche semble ainsi considérer que la grandeur visuelle d'un objet est directement corrélée au degré de *détail* dans lequel on le perçoit. Berkeley qui a lu attentivement Malebranche se souviendra de ce point et le conceptualisera de manière profonde dans ses *Philosophical commentaries* et son *Essay toward a new theory of vision* (1709) en introduisant la notion de minimum visuel, lequel représente un seuil subjectif de perception (égal en tout homme) qui divise la sphère visuelle en un nombre qui peut différer d'un individu à l'autre selon l'acuité de chacun. Le minimum visuel étant une entité purement subjective, il a la même étendue pour tous (« il est, écrit Berkeley, exactement égal dans tous les êtres, quels qu'ils soient qui sont dotés de la faculté visuelle », *New theory of vision*, § 80). Dès lors une sphère visuelle qui comporte un plus grand nombre de minima doit être est conçue comme ouvrant un champ visuel objectivement plus grand. La Lune dont le diamètre occupe 60 minima dans la sphère visuelle d'un individu doué d'une très bonne acuité sera un objet visuel objectivement deux fois plus large que celle qui pour un individu à la vue médiocre n'occupe que 30 minima.

32 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre I, chap. VI, § 1, *op. cit. in* n. 1, t. I, 85.

objets extérieurs telles que les grandeurs et les distances sont pour nous toujours relatives aux mêmes propriétés dans notre propre corps. Malebranche envisage que Dieu crée un monde réduit à la taille d'une petite boule, dans lequel de petits hommes devraient être dotés de lentilles oculaires extrêmement petites, leur permettant de voir leur environnement microscopique afin de pouvoir y vivre. Il imagine à l'inverse un monde plus vaste avec des créatures immense pour lesquelles notre monde serait presque invisible [33]. Ces hommes grands ou petits auraient certainement d'autres idées que nous sur les tailles et les limites du monde, mais ni une meilleure ni une moins bonne saisie de ce qui en est la « vraie » grandeur.

L'idée que nos yeux sont comme des « lunettes naturelles » a une portée similaire. Malebranche se sert tacitement de la construction conceptuelle du télescope par Descartes dans le chapitre 7 de la *Dioptrique* [34]. L'instrument optique, par essence, n'est ni plus ni moins qu'une lentille oculaire (un cristallin) démesurément étirée ou reconfigurée. Les limites supérieure et inférieure de la visibilité sont donc déterminées par le fait contingent que notre cristallin présente telle ou telle figure. Une autre figure, par exemple un cristallin fortement convexe, semblable à une loupe, et placé plus près de la rétine, nous aurait plongés dans un tout autre monde visuel. Cette vision microscopique nous aurait rendus, peut-être plus savants au sujet du monde reculé des insectes, mais certainement moins aptes à vivre dans le monde des hommes [35]. Dans le VIe éclaircissement de la *Recherche de la vérité*, Malebranche illustre encore cette idée par un petit apologue présentant un paysan dont les yeux seraient faits de telle manière qu'il pourrait voir des montagnes et des rivières sur la Lune

33 - Sur ces spéculations, voir C. Chamberlain, « Let us imagine that God has made a miniature earth and sky :» Malebranche on the body-relativity of visual size, *Journal of the American Philosophical Association*, 6 (2020), 206-224.

34 - Dans ce texte illustrant les ressources de la « méthode », Descartes s'efforce de montrer comment le télescope aurait pu être rationnellement inventé à partir d'une énumération des différents moyens d'améliorer la vision, en particulier en faisant usage de lentilles ou de tubes emplis d'eau pour repousser vers l'avant le foyer de l'œil et partant augmenter la taille de l'image rétinienne. Le télescope apparaît ainsi en son essence comme un œil reconfiguré par l'artifice. Je me permets ici de renvoyer aux analyses développées dans le chap. VIII de Philippe Hamou, *La Mutation du visible*, vol. I (Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du Septentrion, 1999).

35 - Ici encore, Berkeley retiendra cette leçon : voir ses considérations sur les yeux-microscopes dans la *New theory of vision*, § 86.

(comme s'il la regardait avec un télescope). Cette performance, explique-t-il ne lui servirait qu'à passer pour un fou parmi ses pairs, car « pour être fou dans l'esprit des autres (...) il suffit de penser ou de voir les choses autrement qu'eux [36] ».

La leçon générale de ces spéculations est claire : nos yeux nous permettent de voir les objets utiles ou nuisibles à notre corps, mais ils ne révèlent qu'une petite partie de l'extension illimitée de l'espace et qu'un petit nombre des êtres que Dieu a réellement créés. Ce que nous voyons de l'extension est limité dans les deux sens. Nous avons tendance à juger qu'il n'y a rien de créé au-delà des plus petites parties visibles de la matière ni rien au-dessus des limites visuelles supérieures de la voûte céleste. Les instruments optiques, en découvrant de nouvelles étoiles plus loin dans le ciel, des animaux et des germes dans la plus petite partie de la matière, peuvent nous corriger sur ce point – et en ce sens ils nous préparent certainement à considérer la véritable étendue de la Création et de la providence mais leur horizon n'est luimême pas moins limité que l'horizon de la vue ordinaire. Malebranche évoque souvent les récentes découvertes du microscope, révélant la splendeur des plus petites créatures, que les hommes méprisent injustement. Il défend aussi, comme Leibniz, une doctrine préformationniste de la génération. S'appuyant sur les observations microscopiques de Malpighi et de Swammerdam, il suggère que les germes nécessaires à toutes les générations futures ont préexisté, depuis l'époque de la création, inclus les uns dans les autres [37], comme dans une *matriochka.* Là encore, l'intention apologétique est claire, car la préexistence de toute la descendance des créatures semble être le meilleur moyen d'éviter les interventions constantes de Dieu dans sa création, par des actes particuliers de sa volonté : « Il lui fallait une substance divisible à l'infini pour perpétuer la génération des animaux et des plantes, sans arrêter le cours uniforme et majestueux de sa providence [38]. »

36 - Malebranche, Éclaircissement VI, *op. cit. in* n. 1, t. III, 58.
37 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre I, chap. VI, § 1, *op. cit. in* n. 1, t. I, 81-83.
38 - Lettre de Malebranche à Dortous de Mairan du 12 juin 1714, *op. cit. in* n. 1, t. XIX, 884.

Le jugement naturel

Venons-en à présent à la seconde thèse philosophique fondamentale que Malebranche entend tirer de l'optique, selon la lettre à Dortous de Mairan : l'idée d'après laquelle la vision ne serait pas possible si l'intelligence infinie de Dieu n'y intervenait pour « en un clin d'œil faire une infinité de raisonnements instantanés tous réglés par la géométrie et les lois de l'union de l'âme et du corps ». Pour mieux comprendre cette thèse, et peut-être la dépouiller de son apparence d'étrangeté, il convient d'examiner la manière dont elle découle des considérations malebranchiennes sur la notion de « jugement naturel » et de leur évolution.

Malebranche, comme de nombreux théoriciens de la perception visuelle avant et après lui, reconnaît que la vision ne nous présente pas seulement un contenu purement phénoménal (ou sensoriel) (un ensemble de lumières et de couleurs distribuées dans le champ visuel), mais aussi ce que nous appellerions aujourd'hui un contenu propositionnel. Nous voyons des choses individualisées comme existant ici ou là dans le monde extérieur, dotées de telles ou telles propriétés tridimensionnelles, placées à certaines distances de nous. Nous voyons que les lignes parallèles d'un chemin de fer s'éloignent vers l'horizon ou qu'un homme s'approche de nous, etc. Une question (qui reste aujourd'hui une question philosophique prégnante) est de savoir comment rendre compte de ces utilisations propositionnelles du verbe « voir ». La vision est-elle plus qu'un sens, quelque chose qui implique déjà une activité cognitive d'un type qui est habituellement attribué à l'intellect ? Ou devons-nous enrichir notre notion de sens et de perception sensorielle afin qu'ils incluent une telle activité ?

La réponse de Malebranche à ces questions fait appel à la notion de « jugements naturels ». Cette notion fameuse soulève de nombreux problèmes d'interprétation [39]. L'une des difficultés vient de ce que Malebranche semble avoir changé assez radicalement sa

39 - Discutés notamment dans Émile Bréhier, Les « jugements naturels » chez Malebranche, *in id.*, *Études de philosophie moderne* (Paris : Vrin, 1965) et plus récemment dans l'important ouvrage de Walter Ott, *Descartes, Malebranche, and the crisis of perception* (Oxford University Press, 2017).

définition du jugement naturel au cours des éditions successives de la *Recherche de la vérité*. Dans la première édition, un jugement naturel est un authentique jugement, mais qui est fait si rapidement et si habituellement « que l'âme en vient à le considérer comme une simple sensation [40] ». Dans les éditions suivantes, les jugements naturels sont décrits comme des « sensations composées » qui ne peuvent être appelées jugements qu'en considération du fait que Dieu, qui nous a donné ces sensations, les a choisies selon un « jugement » qu'il fait « pour nous » mais « sans nous » et même « malgré nous [41] ». Les jugements naturels étaient donc (dans la première édition de la *Recherche de la vérité*) de vrais jugements qui avaient l'apparence de sensation. Ils sont devenus de véritables sensations qui ne sont qu'en apparence des jugements… Ces révisions sont frappantes, et ont été récemment décrites comme témoignant d'une « étonnante volte-face [42] ».

Une autre difficulté réside dans le fait que les « jugements naturels » semblent jouer un rôle contradictoire dans la *Recherche de la vérité*. Malebranche les décrit à la fois comme ce qui nous empêche de nous tromper massivement sur la réalité corporelle – et comme l'une des sources principales de l'illusion perceptive, c'est-à-dire les « faux jugements » qui accompagnent toujours nos sensations.

On peut peut-être atténuer en partie cette dernière difficulté en considérant que Malebranche a combiné deux sortes de choses très différentes dans la catégorie « jugement naturel ». D'une part, il y a ce qu'on peut considérer comme les jugements naturels entendus en un sens « robuste ». Ce sont les jugements qui interviennent dans la perception des qualités spatiales (tridimensionnelles) déterminées des corps, telles que les grandeurs déterminées, les formes, les distances relatives et les mouvements. Ces jugements (décrits au livre I, chap. VII), bien qu'ils puissent parfois être trompeurs, comme dans le cas de l'illusion de la lune à l'horizon et au zénith, nous évitent généralement de commettre des erreurs. Ils sont en effet clairement destinés à corriger l'impression visuelle immédiate. Si nous devions juger

40 - Malebranche, *op. cit. in* n. 1, t. I, p. 130, var. b.
41 - Malebranche, *op. cit. in* n. 1, t. I, 155 (voir *infra*, n. 43)
42 - *An astonishing about-face*, Ott, *op. cit. in* n. 39, 157.

des propriétés spatiales en nous fondant uniquement sur ce qui est donné à la sensation visuelle, nous jugerions que certaines faces d'un cube sont plus courtes que d'autres, ou nous jugerions que les objets qui s'éloignent de nous rétrécissent, parce que c'est ainsi que nos images sensorielles les représentent. Cependant, lorsque nous voyons, un « jugement » intervient, fondé sur la comparaison entre cette image sensorielle et d'autres impressions : des indices de distance tels que la position des objets intermédiaires dans le champ de vision, la distinction ou la pâleur des images, l'intensité des sensations musculaires qui se produisent autour des globes oculaires lorsqu'ils convergent vers l'objet, ou lorsque nous essayons d'accommoder nos yeux à la distance, etc. Les jugements naturels prennent en compte ces indices pour rectifier, dans une certaine mesure, notre appréhension, de sorte que les faces du cube sont effectivement perçues comme égales, et que l'homme qui s'éloigne ou s'approche ne semble pas changer de taille, mais nous apparaît s'éloignant ou s'approchant.

D'autre part, Malebranche appelle également « naturel », mais à mon avis dans un sens un peu plus lâche, le jugement qui sous-tend la croyance que nous avons décrite précédemment comme l'erreur dominante des sens : à savoir, cette opinion que nous sentons réellement les choses dans le monde extérieur. Nous jugeons, par exemple, que les étoiles que nous voyons sont réellement dans le ciel. Dans la *Recherche de la vérité* (livre I, chap. XIV), Malebranche dit qu'il faut distinguer le fait que les étoiles visibles nous paraissent être dans le ciel, et notre croyance qu'elles y sont, autrement dit le jugement « naturel », incoercible, de l'extériorité, et le jugement « libre » qui s'ensuit habituellement, mais qui est censé pouvoir être évité [43]. Cependant, lorsqu'il explique comment nous en sommes venus à croire à l'extériorité de nos sensations, la distinction entre libre

43 - Malebranche, *op. cit. in* n. 1, t. I, 155 : « Or comme les étoiles qui sont immédiatement unies à l'âme, lesquelles sont les seules que l'âme puisse voir, ne sont pas dans les cieux, il s'ensuit que tous les hommes qui voient les étoiles dans les cieux, et qui jugent ensuite volontairement qu'elles y sont, font deux faux jugements, dont l'un est naturel, et l'autre libre. L'un est un jugement des sens ou une sensation composée, qui est en nous, sans nous, et même malgré nous, et selon laquelle on ne doit pas juger. L'autre est un jugement libre de la volonté que l'on peut s'empêcher de faire, et par conséquent, que l'on ne doit pas faire si l'on veut éviter l'erreur. »

et naturel semble quelque peu s'estomper. Comme l'âme ne peut pas percevoir ses propres organes sensoriels, elle manque de repères de localisation pour ses sensations, et elle a donc tendance à les placer dans le monde extérieur, car elle « sait » que les sensations ne sont pas de son fait [44]. Ce « raisonnement » est très élémentaire, presque naïf. Au moment de nos premières expériences visuelles, il a pu être fait librement. Mais il est devenu tellement habituel que nous ne pouvons plus éviter de le faire (ou plutôt de nous en souvenir) lorsque nous voyons. L'explication ressemble à celle que Descartes avait pu avancer dans les *Principes de la philosophie* pour expliquer comment les préjugés de l'enfance se sédimentent et nous déterminent à projeter nos sentiments dans le monde extérieur. Descartes comptait parmi ces préjugés les croyances ordinaires concernant la taille des astres, l'immobilité de la terre, mais aussi la conviction que les qualités ressenties dans la sensation appartiennent à des choses extérieures. Nous nous sommes faussement convaincus de la chose lorsque nous avons appris à voir, et ce jugement est maintenant, par la coutume et l'association, spontanément rappelé, plutôt que réellement effectué [45]. L'inclusion de ce type de jugement parmi les jugements naturels dans la *Recherche de la vérité* peut être considérée comme un vestige de l'interprétation de la première édition, où les « jugements naturels » étaient tous définis de cette manière. Il est clair cependant que ce type de jugement associé aux préjugés de l'enfance ne

44 - Malebranche, *op. cit. in* n. 1, t. I, 156-157 : « Mais voici pourquoi l'on croit que ces mêmes étoiles que l'on voit immédiatement, sont hors de l'âme, et dans les cieux. C'est qu'il n'est pas en la puissance de l'âme de les voir quand il lui plaît, car elle ne peut les apercevoir que lorsqu'il arrive dans son cerveau des mouvements auxquels les idées de ces objets sont jointes par la nature. Or, parce que l'âme n'aperçoit point les mouvements de ses organes, mais seulement ses propres sensations, et qu'elle sait que ces mêmes sensations ne sont point produites en elle par elle-même, elle est portée à juger qu'elles sont au dehors, et dans la cause qui les lui représente ; et elle a fait tant de fois ces sortes de jugements, dans le même temps qu'elle aperçoit les objets, qu'elle ne peut presque plus s'empêcher de les faire. »

45 - Voir Descartes, *Principes de la philosophie*, partie I, chap. 71 qui se conclut ainsi : « Et nous avons été par ce moyen, si fort prévenus de mille autres préjugés que, lors même que nous étions capables de bien user de notre raison, nous les avons reçus en notre créance ; et au lieu de penser que nous avions fait ces jugements en un temps où nous n'étions pas capables de bien juger, nous les avons reçus pour aussi certains que si nous en avions eu une connaissance distincte par l'entremise de nos sens, et n'en avons pas non plus douté que s'ils eussent été des notions communes » (trad. Claude Picot, *in* Descartes, *op. cit. in* n. 27, t. IX-2, 59).

présente pas les caractéristiques essentielles du type robuste : il est systématiquement trompeur, alors que le type robuste nous met généralement à l'abri de l'erreur. Il s'agit en outre d'un jugement assez simple, qui découle d'une ignorance (l'ignorance de la véritable cause de nos sensations) plutôt que d'un savoir, alors que les jugements naturels proprement dits semblent au contraire mobiliser d'authentique raisonnements géométriques.

Ceci nous reconduit à la caractérisation de ces jugements naturels robustes. Une de leurs caractéristiques « phénoménologiques » à laquelle Malebranche est sensible tient au fait que ces « jugements » (qu'ils méritent ou non ce nom) sont profondément *ancrés* dans la vision, en ce sens qu'il n'y a pas d'écart temporel sensible (il n'y a, dira Malebranche, qu'un « clin d'œil ») entre le moment où nous ouvrons les yeux et celui où nous nous trouvons informé des propriétés spatiales des objets. Nous ne voyons pas d'abord une pièce de monnaie ellipsoïde posé sur une table pour ensuite juger qu'elle est ronde. Il nous semble « voir » directement la pièce comme étant ronde.

À cette *immédiateté* phénoménologique s'associe ce qu'on peut caractériser comme une forme *d'incorrigibilité*. L'échange avec Pierre-Sylvain Régis sur l'illusion de la Lune à l'horizon en offre une bonne illustration. Malebranche avait eu recours à cet exemple dans la *Recherche de la vérité* pour montrer que les jugements naturels, même robustes, peuvent être source d'erreurs [46]. Lorsque la Lune est proche de l'horizon, nous la voyons derrière le sol ou les champs intermédiaires, ou du moins nous la voyons à l'extrémité de la voûte céleste elliptique [47], plus loin que l'objet visible le plus éloigné que l'on pourrait voir (ou imaginer voir) sur ce sol ou sous cette voûte. Ainsi, un jugement naturel combinant l'image rétinienne réelle de la lune (qui ne change pas de manière sensible quand la lune est à l'horizon et quand elle est au

46 - Malebranche, *op. cit. in* n. 1, t. I, 98-99.

47 - Malebranche a ajouté dans l'édition « G » la notion importante que la voûte céleste est perçue ou imaginée comme un dôme elliptique, beaucoup plus long que haut. Selon Robert Smith (*A compleat system of opticks*, 64 *sq*) l'illusion de la lune est une suite de cette illusion plus fondamentale, dont l'explication tient à la différence entre l'horizon géométrique et l'horizon sensible. Voir aussi le commentaire de Voltaire (et ses critiques à l'égard de Malebranche) dans ses *Éléments de la philosophie de Newton*, partie II, chap. VIII, *Les Œuvres complètes de Voltaire*, vol. 15 (Oxford : The Voltaire Foundation, 1992), 326-332.

zénith [48]) et la plus grande « impression » de distance donnée par les indices sensoriels du sol intermédiaire, nous fait percevoir la lune à l'horizon beaucoup plus grande qu'elle ne nous apparaît en l'absence totale d'indice de distance [49]. Régis avait critiqué l'explication de Malebranche proposant pour sa part une explication proche de celle que Gassendi avait cru pouvoir avancer, attribuant l'illusion à un certain effet physique ou physiologique affectant la taille de l'image rétinienne [50] (typiquement les réfractions atmosphériques). Il objectait à l'explication donnée dans la *Recherche de la vérité* que si la cause de l'illusion était, non pas un phénomène physique mais une erreur de jugement, comme le prétendait Malebranche, alors quelqu'un possédant suffisamment de connaissances astronomiques aurait dû être capable de se délivrer lui-même de l'illusion, en ajoutant aux prémisses de son jugement la notion intellectuelle de la taille réelle de la lune qu'il aurait alors acquise. Malebranche répond que pour qu'une information de distance soit incluse dans notre « jugement naturel », il faut qu'elle soit *perçue*, ressentie, et non simplement connue. En d'autres termes le « jugement naturel » robuste ne peut réellement s'exercer que s'il a été pour ainsi dire « sensorialisé ».

À ces deux ordres de considérations s'en ajoute une troisième qui explique que Malebranche se soit définitivement rendu à la définition du jugement naturel comme « sensation composée ». Car outre le fait qu'ils soient immédiats et incorrigibles, les jugements naturels révèlent à chaque instant une activité calculatoire qui déborde infiniment les pouvoirs de l'esprit humain. Dans un morceau de bravoure du dernier « éclaircissement » de la *Recherche de la vérité*, Malebranche évoque tout ce qui doit se

48 - Dans sa Réponse à Régis (Malebranche, *op. cit. in* n. 1, t. XVII-1, 263-278), Malebranche mentionne des mesures micrométriques qui prouvent que les images rétiniennes de la lune horizontale et de la lune zénithale ne sont pas significativement différentes (en fait, la lune zénithale projette une image légèrement plus grande en raison de sa plus grande proximité avec l'observateur).

49 - C'est-à-dire lorsqu'elle est au zénith : dans cette situation nous jugeons des grandeurs réelles à partir de ce que nous « imaginons » être la hauteur du ciel – cinq ou six cents pieds, suggère Malebranche. Si elle était réellement à cette distance, la Lune ne serait pas plus large qu'un ou deux pieds d'homme. C'est en effet de cette grandeur qu'elle apparaît à l'esprit vierge de toute connaissance astronomique.

50 - Malebranche réfute à juste titre cette explication, en montrant mathématiquement que les réfractions atmosphériques peuvent déformer la lune horizontalement mais ne peuvent pas en agrandir la sphère (voir Malebranche, Réponse à Régis, *op. cit. in* n. 1, t. XVII-1, 273 *sq*).

passer dans mon esprit lorsque « j'ouvre les yeux au milieu d'une campagne et vois une infinité d'objets les uns plus distinctement que les autres et tous différents entre eux » et notamment « un grand cheval blanc » traversant ce champ de droite à gauche. La vision que j'en ai et qui semble si naturelle, requiert en réalité un traitement informationnel d'une complexité inouïe, mobilisant à chaque instant tout à la fois une parfaite « connaissance » de l'optique, de la géométrie et des lois psycho-physiologiques par le moyen desquels je peux assigner au cheval sa situation dans l'espace, sa grandeur et sa distance, son mouvement et sa vitesse en fonction des dimensions et de l'orientation de l'impression rétinienne, du diamètre et du mouvement des yeux, des effets de parallaxe associés au mouvement du corps, etc.

> Voici, conclut Malebranche, une partie des jugements qu'il faudrait que l'âme fît, selon la supposition que j'ai faite, pour voir seulement un seul objet (...) Ce n'est donc pas nous qui les faisons mais Dieu seul qui les fait pour nous. Voilà pourquoi j'ai appelé *naturels* ces jugements et ces raisonnements dans le temps même que, pour parler comme les autres, je les attribuais à l'âme, afin de faire comprendre par ce mot que ce n'est pas proprement elle qui les faisait, mais l'Auteur de la nature, en elle, et pour elle [51].

On perçoit dans ce texte tardif (le dernier Éclaircissement est ajouté dans l'édition de 1712) que Malebranche gomme ses propres hésitations sur le statut du jugement naturel en attribuant à une facilité de langage (« pour parler comme les autres ») l'idée selon laquelle nous serions nous-mêmes auteurs de ces jugements. Désormais le *jugement naturel* est traité comme une « sensation composée » plutôt qu'un jugement véritable – c'est une *sensation*, une certaine modification de l'âme, et comme telle elle est immédiate et incoercible, mais elle est *composée* ce qui signifie qu'elle est la résultante d'une pluralité d'impressions et qu'elle n'existe que comme le résultat d'un calcul qui met en

51 - Malebranche, Éclaircissement xvi, Malebranche, *op. cit. in* n. 1, t. III, 345.

relation fonctionnelle deux ou plusieurs séries de variables [52]. Pour Malebranche, ce calcul est entièrement entre les mains de Dieu qui seul peut, par sa loi générale, nous donner précisément toutes les perceptions que nous nous donnerions à nous-mêmes si (a) nous avions une connaissance exacte de ce qui se passe dans notre cerveau et dans nos yeux, que (b) nous connaissions parfaitement l'optique et la géométrie et que (c) nous étions capables sur cette base de produire instantanément une infinité d'inférences précises et, en même temps, d'agir en nous-mêmes selon ces inférences précises. Un tel interventionnisme divin apparaît comme une réponse typiquement malebranchienne aux problèmes de la connaissance perceptive, en ce sens qu'elle est en accord avec le strict occasionnalisme de Malebranche. Dieu prend en charge les interactions entre le corps et l'esprit. Il le fait, non seulement en reliant légalement un stimulus et une sensation, mais aussi en confrontant les unes aux autres les informations obtenues de diverses sources et en calculant le résultat.

Conclusion

Il est notable que l'évolution de Malebranche sur les jugements naturels le pousse dans une direction analogue à celle, déjà mentionnée, qui le conduisit à préciser la théorie de la vision en Dieu par la doctrine des « idées efficaces ». Comme l'écrit Walter Ott, dans ces dernières étapes de la doctrine malebranchiste, « tout le travail de la cognition perceptive a été externalisé à Dieu [53] ». Les idées en sont venues à être considérées comme agissant sur les esprits pour y produire les sensations, et pareillement c'est Dieu qui agit en nous sans nous lorsque nous percevons les propriétés

52 - « Je l'appelle composée, parce qu'elle dépend de deux ou plusieurs impressions qui se font en même temps dans nos yeux. Lors, par exemple, que je regarde un homme qui marche, il est certain qu'à proportion qu'il s'approche de moi, l'image ou l'impression qui se trace de sa hauteur dans le fond de mes yeux augmente toujours, et devient enfin double, lorsque, étant à dix pas, il n'est plus qu'à cinq. Mais parce que l'impression de la distance diminue dans la même proportion que l'autre augmente, je le vois toujours de la même grandeur. Ainsi la sensation que j'ai de cet homme dépend sans cesse de deux impressions différentes, sans compter le changement de situation des yeux, et le reste dont je parlerai dans la suite. » Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre I, chap. VII, § 4, addition de l'édition de 1712, *op. cit. in* n. 1, t. I, 97.

53 - Ott, *op. cit. in* n. 39, 185.

spatiales des objets. Il semble que dans ce mouvement, la *vision en Dieu* se fonde subrepticement dans une *vision par Dieu*. On peut estimer qu'il y a là une pente caractéristique de la pensée de l'oratorien.

Cette approche ultra-théologisée de ce qui se joue dans la connaissance perceptive a sans doute beaucoup contribué à en masquer l'intérêt pour le lecteur contemporain. Notons pourtant que la doctrine de Malebranche présente des affinités frappantes avec les conceptions contemporaines de la cognition perceptive, qui postulent des modules préformés, implémentés dans le cerveau, et aptes à calculer les distances à partir de la taille apparente, distinguer les mouvements de l'observateur des mouvements de l'observé, ou identifier les bords et les angles des objets en les individualisant sur leur arrière-plan. Ceci explique pourquoi la théorie des jugements naturels de Malebranche n'usurpe pas la place que certains historiens des sciences cognitives ont souhaité lui donner dans la généalogie de leur discipline [54]. Certes, Malebranche n'a jamais vraiment dit que les mécanismes de calcul permettant le jugement naturel étaient *câblés* dans le cerveau. Mais il est certain qu'il le pensait, car c'est une doctrine constante chez Malebranche que Dieu n'agit pas en nous comme un *deus ex machina*, arbitrairement, mais qu'il obéit toujours aux lois générales qui régissent l'union du corps et de l'esprit. L'action qu'il exerce pour que notre esprit perçoive ou « juge naturellement » les propriétés des corps extérieurs doit donc être concomitante d'une modification affectant notre corps.

Ce point nous permettra de conclure en réinstallant Malebranche dans son contexte propre, car, en choisissant *in fine* de faire du jugement naturel une *sensation composée*, il nous semble clair que Malebranche en est venu à reconduire une importante thématique cartésienne, celle de la « géométrie naturelle » décrite dans le *Traité de l'homme* et la *Dioptrique*. Tout se passe à cet égard comme si son propre cheminement sur ces questions l'avait conduit à revenir des dernières aux premières pensées de Descartes. Sa position initiale évoque en effet le Descartes tardif, celui des *Réponses aux sixièmes objections* ou des *Principes*, pour lequel les jugements qui nous informent

54 - Singulièrement chez Meyering, *op. cit. in* n. 5.

des propriétés spatiales des objets sont toujours de véritables jugements, opérés par l'entendement, mais qui par la force de l'habitude se sont imposés à nous comme des préjugés [55]. Renonçant à poursuivre cette approche trop intellectualiste du jugement de perception, Malebranche redécouvre pour son compte (et pour ainsi dire généralise), une idée séminale qu'on trouvait seulement dans les premiers essais cartésiens. Certaines propriétés spatiales comme les courtes distances ou la situation des objets, propriétés qui en principe ne sont pas l'objet d'une sensation simple, peuvent néanmoins être appréhendées comme si elles étaient directement senties – donc sans jugement, mais, comme l'écrit Descartes dans la *Dioptrique*, par « une action de la pensée, qui, n'étant qu'une imagination toute simple, ne laisse point d'envelopper en soi un raisonnement tout semblable à celui que font les arpenteurs, lorsque, par le moyen de deux différentes stations, ils mesurent les lieux inaccessibles [56] ». Il existe ainsi un raisonnement « enveloppé » dans certaines de nos sensations : c'est le cas lorsque la convergence des deux yeux, ou l'accommodation du cristallin, ou encore nos propres déplacements dans l'espace nous *font voir* la distance d'un objet. La *géométrie naturelle* qui opère ici ne peut pas être le résultat d'un jugement d'entendement qui se serait sédimenté avec le temps. Il faut la concevoir comme une sorte d'algorithme mécanique, inscrit dans la machinerie cérébrale, en vertu duquel par exemple, le mouvement de convergence progressive des yeux qui se focalisent sur un objet à distance

55 - Voir, dans les *Réponses aux sixièmes objections*, la caractérisation cartésienne du « troisième degré des sens » : « Que de ce sentiment de la couleur dont je sens l'impression, je vienne à juger que ce bâton qui est hors de moi est coloré, et que de l'étendue de cette couleur, de sa terminaison et de la relation de sa situation avec les parties de mon cerveau, je détermine quelque chose touchant la grandeur, la figure et la distance de ce même bâton, quoiqu'on ait accoutumé de l'attribuer au sens, et que pour ce sujet je l'aie rapporté à un troisième degré de sentiment, c'est néanmoins une chose manifeste que cela ne dépend que de l'entendement seul. » À quoi Descartes ajoute : « Nous attribuons à l'entendement les jugements nouveaux et non accoutumés que nous faisons touchant toutes les choses qui se présentent, et que nous attribuons aux sens ceux que nous avons été accoutumés de faire dès notre enfance touchant les choses sensibles, à l'occasion des impressions qu'elles font dans les organes de nos sens ; dont la raison est que la coutume nous fait raisonner et juger si promptement de ces choses-là (ou plutôt nous fait ressouvenir des jugements que nous en avons faits autrefois), que nous ne distinguons point cette façon de juger d'avec la simple appréhension ou perception de nos sens. » Descartes, *op. cit. in* n. 27, t. IX-1, 237.

56 - Descartes, *op. cit. in* n. 27, t. VI, 138.

détermine la variation d'une certaine grandeur cérébrale (par exemple la distance qui sépare la surface de la glande H du centre de cerveau), grandeur dont l'appréhension « simple » par l'imagination nous représenterait immédiatement la distance [57]. Ainsi, ce qui est original – et même absolument novateur – dans cette doctrine n'est pas du tout, comme on l'a parfois cru, l'intellectualisation de l'inférence perceptive, mais bien plutôt la naturalisation des composantes calculatoires de l'inférence. Ce que font donc Descartes, et, à son instar, Malebranche ne serait donc pas tant transférer la tâche du jugement perceptuel des sens à l'intellect, que de l'affecter à une machinerie cérébrale divinement agencée. C'est là un point sur lequel Gary Hatfield a particulièrement insisté dans son interprétation de Descartes, et à mon sens de manière convaincante [58]. Or je crois pouvoir dire que c'est très précisément cette doctrine cartésienne que l'approche malebranchiste mûre du jugement naturel reconduit et généralise, pour expliquer par son moyen l'ensemble des opérations d'apparences judicatives impliquées dans la vision.

57 - Descartes, *op. cit. in* n. 27, t. XI, *Traité de l'homme*, 182-183.
58 - Gary Hatfield, Natural geometry in Descartes and Kepler, *Res philosophica*, 92 (2015), 117-114.

Réception et appropriation de la philosophie naturelle de Malebranche

Inertie, causalité, système des petits tourbillons *

Christophe Schmit **

Résumé : Cette étude se propose de mettre en pleine lumière les caractéristiques essentielles de la philosophie naturelle de Nicolas Malebranche et d'en montrer la postérité au XVIII[e] s. Ce devenir semble prendre deux formes. Le premier lié à la métaphysique du mouvement qui relève aussi bien de l'occasionalisme que d'une réflexion sur le concept de force d'inertie à la suite d'un examen critique des *Principes de la philosophie* de René Descartes. Le deuxième lié au mécanisme, avec l'introduction de la théorie des petits tourbillons de matière subtile qui entraîne une révision d'ampleur du système de Descartes et dont l'usage s'avère très répandu dans la première moitié du XVIII[e] s. Causalité physique, inertie, théorie des petits tourbillons constituent alors un héritage malebranchien d'importance et une des formes prises par la philosophie mécanique au siècle des Lumières.

Mots-clés : inertie ; occasionalisme ; petits tourbillons ; philosophie mécanique.

Summary: *The aim of this study is to shed light on the essential features of Nicolas Malebranche's natural philosophy and to show its posterity in the eighteenth century. This development seems to take two forms. The first relates to the metaphysics of movement, which includes occasionalism as well as a reflection on the concept of the force of inertia following a critical examination of René Descartes'* Principia philosophiae. *The second relates to mechanism, with the introduction of the theory of small vortices of subtle matter, which led to a major revision of Descartes' system and was widely used in the first half of the eighteenth century. Physical causality, inertia and the theory of small*

* L'auteur remercie sincèrement les deux relecteurs anonymes dont les précieuses suggestions ont permis d'amender une première version de cet article.

** Christophe Schmit, Laboratoire Temps Espace, observatoire de Paris, 61, av. de l'Observatoire, 75 014 Paris. Email : christophe.schmit@obspm.fr.

vortices constitute an important legacy of Malebranche and one of the forms taken by mechanical philosophy in the Age of Enlightenment.

Keywords: *inertia; occasionalism; small vortices; mechanical philosophy.*

Introduction

Cet article se propose d'identifier ce que pourraient être les caractéristiques essentielles de la philosophie naturelle de Nicolas Malebranche et d'en dévoiler la présence dans un ensemble d'écrits du XVIIIe s. On examine ici la réforme du mécanisme cartésien dans l'œuvre de Malebranche et on montre qu'elle a été suivie par un certain nombre de savants postérieurs. Il s'agit alors, à partir du corpus malebranchien qui relève des fondements et des méthodes explicatives dans le champ de la physique, de constituer une grille de lecture permettant de rassembler des travaux qui témoigneraient de la présence de Malebranche et de suggérer les formes qu'elle revêt. Bien que nous restreignons cette étude à des publications françaises de la première moitié du XVIIIe s., les écrits ici réunis semblent suffisamment nombreux pour évaluer dans quelle mesure l'œuvre du philosophe constitue un horizon de référence dans l'usage de principes et de méthodes explicatifs. Ces caractéristiques nous semblent revêtir deux formes qui composent les deux parties de cette étude.

La première forme relève de la métaphysique du mouvement. Il existe un « malebranchisme physique » au siècle des Lumières marqué par l'héritage de l'occasionalisme, contexte dans lequel inscrire une critique de la causalité et l'émergence d'une « conception nomologique de la causalité » notamment dans l'œuvre de Jean Le Rond d'Alembert [1]. Nous souscrivons à ces thèses et apportons des compléments qui suggèrent que la

1 - Pour ces formules voir Jean-Christophe Bardout, Quelques remarques sur le malebranchisme en France au siècle des Lumières, *in* D. Kolesnik-Antoine (dir.), *Les Malebranchismes des Lumières : Études sur les réceptions contrastées de la philosophie de Malebranche, fin XVIIe et XVIIIe siècles* (Paris : Honoré Champion, 2014), 18. Voir aussi Thomas L. Hankins, *Jean d'Alembert : Science and the Enlightenment* (New York : Gordon and Breach, 1990) ; Alain Firode, *La Dynamique de d'Alembert* (Paris-Montréal : Vrin-Bellarmin, 2001) ; Véronique Le Ru, *La Crise de la substance et de la causalité* (Paris, CNRS Éditions, 2003).

théorie des causes occasionnelles est répandue et apparaît, notamment, dans le cadre de réflexions sur les états de mouvement et de repos des corps, ou encore sur le concept de force d'inertie. Mais, nous montrons surtout que Malebranche développe une réflexion originale sur la matière et sur les modes d'action de Dieu qui le conduisent à rejeter l'équivalence ontologique entre repos et mouvement et la force des corps au repos introduite par Descartes dans ses *Principes de la philosophie* [2]. Cette critique est documentée [3] mais ses conséquences insuffisamment, et ce rejet est parfois attribué à l'occasionalisme ce qui ne semble pas le cas [4]. Ces conséquences suivent deux voies : une absence de conceptualisation de la force d'inertie et l'énoncé d'une nouvelle loi de la nature qui remplace la première loi des *Principes* de Descartes; la force d'inertie réduite à un simple nom.

La deuxième forme concerne le mécanisme. Il existe un mécanisme propre à Malebranche qui, à la suite du rejet de la force des corps au repos entraîne une révision radicale de la physique de Descartes [5]. Malebranche fonde alors ses explications de phénomènes sur la persistance du mouvement rectiligne uniforme à l'exclusion de l'état de repos et donne naissance à la théorie des petits tourbillons. Mais l'œuvre revêt une dimension programmatique car Malebranche n'entreprend pas une révision globale du système de Descartes. Nous montrons que de nombreux savants prennent pour texte fondateur l'Éclaircissement XVI

2 - Sur cette force, voir Martial Gueroult, Métaphysique et physique de la force chez Descartes et Malebranche, *Revue de métaphysique et de morale*, 59e année (1954), 1-37 et 113-134; Alan Gabbey, Force and inertia in seventeenth-century dynamics, *Studies in history and philosophy of science*, 2 (1971), 1-67; Daniel Garber, *La physique métaphysique de Descartes* (Paris : Presses universitaire de France, 1999).

3 - Voir Paul Mouy, *Le Développement de la physique cartésienne* (Paris : Vrin, 1934), 282-284; Gueroult, *op. cit. in* n. 2; Ferdinand Alquié, *Le Cartésianisme de Malebranche* (Paris : Vrin, 1974), 39-40; André Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences : L'œuvre scientifique, 1674-1715* (Paris : Vrin, 1970), 87-110; Steven Nadler, Malebranche on causation, *in* S. Nadler (dir.), *The Cambridge companion to Malebranche* (Cambridge Univ. Press, 2000), 132-133; Andrew Pyle, *Malebranche* (Londres : Routledge, 2003), 144-147. Voir Nicolas Malebranche, *Œuvres complètes*, dir. André Robinet (Paris : Vrin, 1958-1990), t. I, *De la recherche de la vérité*, 420-449; et les « Notes de l'éditeur », 561-562. Voir *ibid.*, t. XVII-1, *Pièces jointes, écrits divers*, « Notes de l'éditeur », 199-236.

4 - Nadler, *op. cit. in* n. 3, 132; Pyle, *op. cit. in* n. 3, 131; Robinet, *op. cit. in* n. 3, 99.

5 - Pour cette révision, voir Robinet, *op. cit. in* n. 3. Parmi les études récentes sur la « philosophie mécanique » et les « mécanismes » explicatifs des phénomènes, voir en particulier Daniel Garber, Sophie Roux (dir.), *The Mechanization of natural philosophy* (Dordrecht : Springer, 2013).

de 1712 de *De la recherche de la vérité* qui donne naissance à une des formes prise par le mécanisme au XVIII^e s.

Force des corps au repos et principe d'inertie

La réforme de Descartes

Dans l'édition de 1712 de l'Éclaircissement XVI de *De la recherche de la vérité*, Malebranche écrit que

> ce qui gâte le plus la physique de M. Descartes est ce faux principe que le repos a de la force ; car de là il a tiré des regles du mouvement qui sont fausses : de là il a conclu que les boules de son second élément étoient dures par elles-mêmes ; d'où il a tiré de fausses raisons de la transmission de la lumiere & de la variété des couleurs, de la génération du feu, & donné des raisons fort imparfaites de la pesanteur [...] ce faux principe [...] influë presque partout dans son systéme [6].

Ce « faux principe » apparaît notamment dans les *Principes de la philosophie* de Descartes : « lorsqu'il [un corps] est en repos, il a de la force pour demeurer en ce repos & ... pour resister à tout ce qui pourroit le faire changer [...] lorsqu'il se meut, il a de la force pour continuer de se mouvoir avec la mesme vitesse & vers le mesme costé ». Ceci est fondé sur la « premiere loy » (art. 37) qui stipule la persistance des états de repos et de mouvement au fondement de toute action, persistance qui relève du mode d'action de Dieu. Cette force intervient dans les règles du choc, en particulier la quatrième où un corps au repos percuté par une autre dit « plus petit » lui oppose cette force et reste immobile. Elle intervient aussi dans l'explication de la cohésion de la matière puisque, selon, Descartes « il n'y a rien qui joigne les parties des corps durs, sinon qu'elles sont en

6 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. II, 449.

repos au regard l'une de l'autre [7] ».

Malebranche rejette cette explication de la cohésion [8]. Mais le propos va dépasser le cadre d'une simple correction : Malebranche énonce la manière dont il conçoit le mode d'action de Dieu, rejette la force de repos et invite à repenser la première loi cartésienne. Ces critiques sont présentes dès la première édition de *De la recherche de la vérité* au sein du livre VI, partie II consacrée à la méthode et, en particulier, aux règles à observer dans la recherche de la vérité. Malebranche y montre les démarches de l'esprit dans une quête de la cause de la cohésion ou dureté des corps, en excluant de fausses explications (sympathies, atomisme) avant d'en venir à celle de Descartes. Il estime qu'il n'y a

> point de preuve certaine que Dieu veüille par une volonté positive que les corps demeurent au repos : & il semble qu'il suffit que Dieu veüille qu'il y ait de la matiere, afin que non seulement elle existe, mais aussi afin qu'elle existe au repos [...] l'idée d'une matiere muë renferme certainement deux puissances ou efficaces [...] celle qui l'a créée, & de plus celle qui l'a agitée. Mais l'idée d'une matiere en repos ne renferme que l'idée de la puissance qui l'a créée, sans qu'il soit nécessaire d'une autre puissance pour la mettre en repos : puisque si on conçoit simplement de la matiere sans songer à aucune puissance, on la concevra nécessairement en repos [...] la force prétenduë qui fait le repos, n'est que la privation de celle qui fait le mouvement, car il suffit ce me semble que Dieu cesse de vouloir qu'un corps soit mû, afin qu'il cesse de l'être, & qu'il soit en repos [9].

Mouvement et repos n'ont pas la même valeur ontologique, et cette force de repos est perçue à travers le mouvement dont elle n'est que privation : « ce n'est donc qu'une pure privation

7 - Pour ces citations, voir René Descartes, *Œuvres de Descartes*, éd. Charles Adam & Paul Tannery, nouvelle présentation, en co-édition avec le CNRS (Paris : Vrin, 1964-1974), t. IX, *Principes de la philosophie*, 84, 88, 94. Sur ces lois, ces règles, la dureté et le concept cartésien d'inertie, voir notamment Garber, *op. cit. in* n. 2 ; Frédéric de Buzon, Vincent Carraud, *Descartes et les « Principia » II : Corps et mouvement* (Paris : Presses universitaires de France, 1994) ; Sophie Roux, « La philosophie mécanique (1630-1690) », thèse (Paris, EHESS, 1996) ; Sophie Roux, Découvrir le principe d'inertie, *Recherches sur la philosophie et le langage*, 24 (2006), 453-515.

8 - Voir Robinet, *op. cit. in* n. 3. Pour Malebranche la cohésion d'un corps vient de la pression des petits tourbillons de matière subtile sur ses parties constitutives.

9 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. II, 428-429.

qui ne suppose point en Dieu de volonté positive». Le repos, contrairement à l'affirmation de Descartes, ne requiert pas de volonté positive et Malebranche l'assimile à un «néant» qui en tant que tel ne saurait donc avoir de propriétés [10]. Ainsi, «la volonté de l'Auteur de la nature, qui fait la puissance & la force que chaque corps a pour continuer dans l'état dans lequel il est, ne regarde que le mouvement & non point le repos [11] ». Et c'est finalement une autre loi de la nature qui semble ici énoncée par Malebranche :

> ayant résolu de produire par les voyes les plus simples, comme plus conformes à l'ordre immuable de ses attributs, cette variété infinie de créatures que nous admirons, il [Dieu] a voulu que les corps se mûssent en ligne droite, parce que cette ligne est la plus simple. Mais les corps étant impénétrables, & leurs mouvemens se faisant selon des lignes opposées, ou qui s'entrecoupent, il est nécessaire qu'ils se choquent & qu'ils cessent par conséquent de se mouvoir de la même façon [...] ces deux loix naturelles qui sont les plus simples de toutes; sçavoir, que tout mouvement se fasse ou tende à se faire en ligne droite, & que dans le choc les mouvemens se communiquent à proportion, & selon la ligne de leur pression, suffisent, les premiers mouvemens étant sagement distribuez, pour produire le monde tel que nous le voyons [12].

Des énoncés similaires figurent dans d'autres œuvres de Malebranche et, finalement, au lieu de ce qui pourrait s'apparenter au principe d'inertie le philosophe énonce une loi qui évoque le mouvement et sa persistance, et lui seul, et non le repos [13]. On sait l'importance de Descartes dans la formulation d'une force et d'un principe d'inertie par Newton [14], et on peut alors s'interroger sur les conséquences des critiques de Malebranche.

10 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. II, 430-431 : «afin que Dieu crée un monde, il ne suffit pas qu'il cesse de vouloir qu'il ne soit pas : mais il est nécessaire qu'il veüille positivement la manière dont il doit être. Mais pour l'anéantir il ne faut pas que Dieu veüille qu'il ne soit pas, parce que Dieu ne peut pas vouloir le néant par une volonté positive : il suffit seulement que Dieu cesse de vouloir qu'il soit».

11 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. II, 432-433.

12 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. III, p. 216-217.

13 - Malebranche, *Méditations chrétiennes et métaphysiques*, *op. cit. in* n. 3, t. X, 71; *Entretiens sur la métaphysique et sur la religion*, *ibid.*, t. XII, 243; *Traité de la nature et de la grâce*, *ibid.*, t. V, 30.

14 - Gabbey, *op. cit. in* n. 2; John Herivel, *The Background to Newton's Principia* (Oxford : Clarendon Press, 1965).

En l'occurrence, les règles du choc pour les corps durs et parfaitement élastiques témoignent de difficultés qui résultent de cette réforme [15]. En effet, Malebranche écrit pour des chocs élastiques dans un milieu non résistant que « si un corps est au repos ou n'a point de mouvement contraire, on peut regarder la réaction comme nulle », et ainsi, « il observera les mêmes loix de mouvement que les corps durs sans ressort, car un ressort qui n'est point bandé n'a nul effet ». La résistance provient des seuls mouvements contraires et non du repos. Et s'« il faut qu'un même corps ait une force double pour donner à un autre [...] une vîtesse double », en aucun cas « cela ne vient [...] de ce que le repos a une force véritable, mais de ce qu'il faut que la cause réponde à l'effet ». Le corps immobile ne fait que pâtir de l'action de l'autre, et ces règles reposent sur l'assimilation déjà rencontrée du repos à un néant :

> pour créer deux pieds de matiere, il faut le double d'action ou de volonté active dans le Créateur que pour n'en créer qu'un pied. Mais ce seroit fort mal raisonner que d'en conclure que le neant résiste effectivement à l'action du Créateur. Un corps en repos quelque grand qu'il soit, ne peut donc resister à un fort petit [...] il peut en recevoir l'impression, en prenant une vîtesse qui soit en raison réciproque de sa masse et le petit demeure en repos [16].

La perte de mouvement du mobile incident se comprend avant tout par un principe de conservation du mouvement. Dans un milieu résistant tel que l'air, si un mobile comprime un corps au repos, ceci vient de « la resistance continuelle d'une masse [...] de l'air tant subtil que grossier » dont « le contre coup [...] suffit pour arrêter & contre-balancer un moment l'un sur l'autre les deux corps [17] ». Selon Malebranche, la résistance causée par l'air provient des surfaces et des figures des corps. Par ailleurs, plus un corps est pesant, plus il est dit solide, plus ses pores sont serrés et plus la matière subtile le pénètre difficilement, et elle lui oppose donc une résistance [18]. La matière des corps est comme un indice de la résistance, mais non la cause.

15 - Pour ces règles, voir Malebranche, *op. cit. in* n. 3, t. XVII-1 ; Robinet, *op. cit. in* n. 3 ; Christophe Schmit, *La Philosophie naturelle de Nicolas Malebranche au XVIII^{e} s.* (Paris : Classiques Garnier, 2020).
16 - Malebranche, *op. cit. in* n. 3, t. XVII-1, 90-94.
17 - Malebranche, *op. cit. in* n. 3, t. XVII-1, 118, 120, 122.
18 - Malebranche, *op. cit. in* n. 3, t. XVII-1, 108-110.

L'usage d'un milieu résistant pour les règles du choc perdure au moins jusqu'en juillet-août 1699. Les 5e et 6e éditions de *De la recherche de la vérité* ne font plus intervenir le milieu pour justifier des résistances bien que leur cadre théorique soit identique aux précédentes ; on y retrouve notamment les critiques sur la force cartésienne. Le rejet de cette force ne résulte pas de l'occasionalisme puisque des auteurs de ce courant conservent l'équivalence ontologique entre le mouvement et le repos. Il en est ainsi de Louis de La Forge dans des passages qui commentent les *Principes* de Descartes [19] et de François Lamy qui, dans une lecture critique de *De la recherche de la vérité*, affirme que le repos résiste au mouvement autant le que mouvement résiste au repos. En effet, Lamy estime que c'est la volonté de Dieu qui crée la matière au repos et au mouvement, que la conservation dans un des deux états ne diffère pas de sa création et qu'ils relèvent chacun d'une volonté positive [20].

Réceptions et critiques : force de repos, inertie et occasionalisme

Privation et cohésion de la matière

Le tabl. 1 en annexe réunit des travaux qui évoquent cette question du repos comme privation, notamment dans le contexte d'explications de la cohésion de la matière, avec des mentions explicites ou non à Malebranche. Nous ne commentons dans ce relevé non exhaustif que trois exemples qui témoignent de la présence du malebranchisme au sein d'écrits lauréats de prix académiques, de cours de collèges, d'académies de provinces du royaume [21].

Jean Simon Mazière remporte le prix de l'Académie royale des sciences de Paris en 1726 avec un mémoire sur les règles de chocs

19 - Louis de La Forge, *Œuvres philosophiques de La Forge*, éd. Pierre Clair (Paris, Presses universitaires de France, 1974), *Traité de l'esprit de l'homme*, 141-142.

20 - François Lamy, *Lettres philosophiques sur divers sujets importans* (Trévoux : Étienne Ganeau, 1703), 141-142. Lettre de Malebranche à Berrand du 15 mars 1704, *op. cit. in* n. 3, t. XIX, 726-727, qui s'apparente à une fin non-recevoir : « Cela ne prouve rien, et [...] il [l'auteur] devroit prouver que la volonté de Dieu pour le repos ne doit pas ceder à celle que Dieu a pour le mouvement, car Dieu peut et doit même subordonner ses volontez les unes aux autres ».

21 - Pour des analyses des écrits de ce tabl. 1, Schmit, *op. cit. in* n. 15.

de corps élastiques où est écrit que « la cause physique que nous cherchons [afin d'expliquer l'élasticité], est un corps, & un corps en mouvement, car le repos n'a pas de force [22] ». Un traité complémentaire, qui se réfère de nombreuses fois à Malebranche, précise que « les corps n'ont de force qu'autant qu'ils ont de mouvement. Le repos n'a pas de force. Dans l'ordre de la Nature, un corps est mû par un autre corps : par un corps qui le touche immediatement : par un corps qui a du mouvement ou de la force. » Pour une critique de l'explication de la dureté basée sur l'existence d'atomes Mazière renvoie directement le lecteur au « liv. VI De la methode, ch. IX » de *De la recherche de la vérité* [23].

De la même manière, l'académicien des sciences Joseph Privat de Molières écrit en particulier dans son cours du Collège royal, qu'« un corps au repos continue de lui-même de demeurer en repos, & n'apporte aucune résistance positive au mouvement [24] » ; « la matiere n'a de force que celle que le mouvement peut lui procurer [25]. » Introduire, comme le fait Descartes, une force pour demeurer au repos revient à « multiplier les principes, introduire dans l'univers deux especes de forces [une due au mouvement l'autre au repos] indépendantes l'une de l'autre, & attribuer l'effet du ressort [l'élasticité des corps] à une cause arbitraire [26] ».

Lors de la séance du 24 août 1745 de l'académie des sciences et belles-lettres de Lyon, l'académicien Charles Cheynet lit une « dissertation sur le repos des corps, ou la privation du mouvement » : « Le repos des corps ou de la matiere a t'il de la force, de la realité, et quelques autres proprietés ; ou bien ne consiste t'il que dans la privation du mouvement : est ce un etre ; est ce

22 - Jean Simon Mazière, « Les loix du choc des corps à ressort parfait ou imparfait », in *Recueil des pieces qui ont remporté le prix de l'Academie royale des sciences*, t. I (Paris : C. Jombert, 1732), 8.
23 - Jean Simon Mazière, « Traité des petits tourbillons », dans *op. cit. in* n. 22, ix et 6-7.
24 - Joseph Privat de Molières, Explication phisique et mécanique du choc des corps à ressort, *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1726 (1728), Mémoires, 7.
25 - Joseph Privat de Molières, *Leçons de phisique : Contenant les élémens de la phisique, déterminés par les seules loix des mécaniques* (Paris : Veuve Brocas, 1734-1739), t. I, 186.
26 - Molières, *op. cit. in* n. 24, t. II, 39. Cette « cause » est la force de repos qui dans la quatrième règle de Descartes vue ci-dessus provoque le rebond du plus petit corps. La 2e éd. (Paris : G. Deprez et P. G. Cavalier, 1745), t. II, 77-78, remplace « arbitraire » par « métaphisique ».

un neant. » Il refuse l'argumentation de Malebranche et l'assimilation du repos à un néant, et en revient alors à la thèse de Descartes. Il rapporte que des réfutations de l'opinion de Malebranche consistent à soutenir que Dieu ne peut vouloir l'existence d'un corps qu'en mouvement ou qu'au repos et que de la part de Dieu il ne faut pas plus de force pour un cas (le mouvement) que pour l'autre (le repos). Il souligne que nos sens nous trompent, et que de la difficulté à mettre en mouvement notre corps nous estimons que le mouvement requiert davantage de force. Par ailleurs, selon la thèse de la création continuée, Cheynet soutient que Dieu conserve chaque corps à chaque instant et identiquement pour le repos et le mouvement. Enfin, si le repos n'avait pas de force, le mouvement ne trouverait pas de résistance et l'univers retomberait dans le chaos [27].

L'absence de force d'inertie chez Malebranche

Plusieurs écrits de l'époque relient le rejet de la force de repos cartésienne et la conception du repos comme privation à la non-conceptualisation de la force d'inertie [28].

Gottfried Wilhelm Leibniz envoie à Malebranche un certain nombre de critiques, notamment à l'encontre de ses règles du choc, qui pointent l'absence de cette force. Il écrit que « le repos n'a point de force pour resister au mouvement. Je l'avoue, mais la matiere a une inertie naturelle car elle ne peut être mise en mouvement, sans qu'il en couste au moteur quelque chose de sa force. Et ce que dit l'auteur [Malebranche] que le neant ne resiste point d'avantage au createur, quand il produit deux pieds de matiere, que lors qu'il en produit qu'un pied est vray, mais aussi le créateur n'y perd rien de sa force. L'inertie de nos corps sensibles est proportionnelle a la pesanteur ». Face à Malebranche pour lequel le comportement des mobiles qui

27 - Voir, aux archives de l'académie des sciences, belles-lettres et arts de Lyon, les « Procès-verbaux de l'académie des sciences et belles-lettres de Lyon, 1740-1747 », f. 53^{r}-53^{v} et 54^{r}. Voir Pierre Crépel, Christophe Schmit, *Autour de Descartes et Newton* (Paris : Hermann, 2017), 108-109.

28 - On ne prétend pas que les auteurs mentionnés ont une même conception de l'inertie. Au-delà de la diversité des définitions et des fondements qu'ils lui donnent, ils reconnaissent la nécessité de conceptualiser une résistance, ce qu'ils ne trouvent pas chez Malebranche.

vont dans le même sens est identique, et ce que les corps qui se percutent soient dits « à ressort » ou parfaitement durs, Leibniz écrit que « les ressorts sont fort bandés [...] la raison le confirme fondée sur l'inertie de la matiere [29] ».

Dans sa traduction anglaise du *Traité de physique* de Jacques Rohault, Samuel Clarke évoque la question du caractère privatif du repos au regard du mouvement dans un passage qu'on retrouve dans l'article « Mouvement » de l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert :

> *Whether rest be a mere privation of motion, or any thing positive, this is sharply disputed. Cartes and some others contend, that which is at rest, has some kind of force, by which it continues at rest, and whereby it resists everything that would change its state; and that motion may as well be called a cessation of rest, as rest is a cessation of motion [...] Malebranch in his Enquiry after Truth, book 6 chap. 9 and others contend on the contrary, that rest is a mere privation of motion; their arguments may be seen briefly explained in Mr. Le Clerc's Phys. book 5 chap. 5 [...] Malebranch and Mr. Le Clerc [...] beg the question. Suppose, say they, a ball at rest; suppose that God should cease to will any thing concerning it; what would be the consequence? It would be at rest still. Suppose it be in motion; and that God should cease to will that it should be in motion, what would follow then? It would not be in motion any longer. Why not? Because the force, whereby the body in motion continued in the state it was, is the positive will of God, but that whereby it is at rest is only privative: this is a manifest begging of the question. In reality, the force or tendency by which bodies, whether in motion or at rest, continue in the state in which they once are; is the mere inertia of matter; and therefore if it could be, that God should forbear willing at all; a body that is once in motion, would move on for ever, as well as a body at rest, continue at rest for ever. And the effect of this inertia of matter is this; that all bodies resist in proportion to their density, that is, to the quantity of matter contained in them; and every body striking upon another with a given velocity, whether that other be greater or less, moves it in proportion to the density or quantity of matter in the one, to*

29 - Leibniz à Malebranche, 13/23 mars 1699, *op. cit. in* n. 3, t. XIX, 670-671. La réponse Malebranche est égarée. Voir André Robinet, *Malebranche et Leibniz : Relations personnelles* (Paris : Vrin, 1955), 330-331.

the density or quantity of matter in the other[30].

Clarke établit donc un lien entre la critique que Malebranche adresse à Descartes et l'absence de conceptualisation de l'inertie.

Ce même lien est évoqué par Émilie Du Châtelet et par Pierre Sigorgne au début des années 1740. Elle écrit que « le père Mallebranche a combattu l'explication que Descartes donnoit de la cohésion en niant qu'il y eût aucune force dans les corps en repos [...] ainsi ce philosophe n'admettoit point de force résistante dans la matière, en quoi il se trompoit [...] la force résistante, [est ce] qu'on appelle force d'inertie[31] ». Sigorgne note cette « opinion aujourd'hui communément reçue que le repos n'est pas une force positive » et que cet « Auteur [Molières] après le p. Malebranche soutient que c'est [le repos] un état privatif, qu'il ne faut en Dieu aucune volonté pour le produire ». Il poursuit en écrivant qu'en ce cas « il ne faut pas plus de force pour procurer à un grand corps une certaine vitesse, que pour la procurer à un petit. En effet puisque ni l'un ni l'autre ne résiste à ce dégré de vitesse, on ne peut pas supposer que l'un résiste plus que l'autre, ni par conséquent que l'un exige une plus grande force que l'autre pour être mû avec ce dégré de vitesse[32] ».

A contrario, des travaux témoignent d'une forme d'appropriation des thèses de Malebranche sur la force des corps au repos dans une critique de la force d'inertie. Ainsi, dans le prix de l'Académie royale des sciences de Paris qu'il remporte en 1720, Jean Pierre

30 - Jacques Rohault, *Rohault's system of natural philosophy: Illustrated with Dr. Samuel Clarke's notes*, vol. 1 (Londres: James et John Knapton, 1729), 41. Clarke se réfère au chap. 9 du livre 6 de *De la recherché de la vérité* qui porte sur l'explication de la cohésion des corps. Il se réfère aussi manifestement à Jean Le Clerc, *Physica, sive de rebus corporeis libri quinque* (Londres: A. Swall & T. Childe, 1696), 386-388. Sur cette édition anglaise du livre de Rohault et son rôle dans la diffusion de la physique de Newton en Angleterre, Volkmar Schuller, Samuel Clarke's annotations in Jacques Rohault's *Traité de physique*, and how they contributed to popularising Newton's physics, *in* Wolfgang Lefevre (dir.), *Between Leibniz, Newton, and Kant: Philosophy and science in the eighteenth century* (Dordrecht: Kluwer, 2001), 95-110. Pour l'article « Mouvement » de l'*Encyclopédie*, voir http://enccre.academie-sciences.fr/encyclopedie/article/v10-2168-0/.

31 - Émilie Du Châtelet, *Institutions physiques* (Amsterdam : Aux dépens de la Compagnie, 1742), 220-221. Selon Du Châtelet, « par cette force qu'il [Descartes] attribuoit aux corps en repos, Descartes entendoit ce que l'on exprime exprime aujourd'hui par *force d'inertie* », 219-220.

32 - Sigorgne, *Examen & refutation des Leçons de physique expliquées par M. de Molières* (Paris : J. Clousier, 1741), 1-2.

de Crousaz estime que

> Descartes, après avoir conçu que le repos étoit un état réel, en a conclu avec trop de précipitation, qu'il étoit aussi actif, & lui a attribué autant de resistance au mouvement, que le mouvement avoit de force pour vaincre le repos. Le pere Malebranche a relevé cette erreur [...] mais en dépouïllant avec raison le repos de toute activité, il est allé jusques à en faire une simple negation, un rien [33].

Crousaz récuse l'identification du repos à un « néant » mais, pour autant, il le considère être une privation de l'activité qu'est le mouvement : « Entant que le mouvement est une manière d'être réelle, le repos est opposé au mouvement comme un terme positif, & est son contraire aussi positif : mais entant que le mouvement est un état actif, le repos n'en est que la privation, que la negation, car le repos n'a point d'activité, & l'étenduë n'est active que par le mouvement. » Ainsi, « les corps n'ont de force que par leur mouvement, la force du mouvement, c'est le mouvement même », et le mouvement est une « manière d'être efficace & active [34] ».

Dans un ouvrage de 1726 où figure ce mémoire complété par des annotations et des réflexions sur la « réaction » et l'inertie, Crousaz écrit concernant « l'activité » que

> le mouvement étant de sa nature un état actif ; par la même qu'il existe, & qu'il est en mouvement, il se trouve déterminé à surmonter les obstacles, a ne pas ceder, à s'opposer a ce qui tend à la faire cesser. Mais pour ce qui est du repos, quand même on ne le mettra point a (*sic*) rang des simples negations. Quand même on le concevra comme une manière d'être très réelle, toûjours n'est il point un etat actif [35].

Le repos renvoie alors à une absence de cette capacité « à s'opposer ». C'est ce dont semble témoigner l'*Essay sur le mouvement* où la réaction de la matière n'est pas conceptualisée et la force d'inertie critiquée. Ainsi, lors du choc de deux corps durs où l'un

33 - Jean Pierre de Crousaz, « Discours sur le principe, la nature, et la communication du mouvement », in *Recueil des pieces qui ont remporté le prix de l'Academie royale des sciences*, t. I (Paris : C. Jombert, 1732), 35-36.
34 - Crousaz, *op. cit. in* n. 33, 35 et 27.
35 - Jean Pierre de Crousaz, *Essay sur le mouvement* (Groningue : Jean Coste, 1726), 149.

d'eux est au repos, le « ralentissement [...] dans le mobile frappant, a donné lieu de supposer une reaction [...], c'est-à-dire une action réciproque [...] on peut [...] la supposer, pour la facilité des calculs, si on trouve qu'elle les rend plus aisés ; [...] mais [...] je n'ay pas sçû m'en former d'idée [36] ». N'estimant pas que le corps immobile produise une réaction, Crousaz écrit conserver ce mot par commodité

> si [...] par la réaction du repos on se contente d'entendre un certain effèt qui se produit dans le mobile [...] une certaine modification qui luy survient toute semblable à celle que le repos feroit naitre par une réaction, s'il étoit capable d'action [...] je ne me rendrai difficile sur ces mots, [...] avec ceux qui [...] les trouvent commodes [37].

Il ajoute qu'« on peut bien donner des noms à des causes que l'on cherche encore », comme « on désigne en algebre les quantités qui sont encore inconnues », il s'agit d'« hypotheses [...] fréquentes chés les mathematiciens [38] ». La force d'inertie est de ce type et donne lieu à des commentaires ironiques :

> depuis quelque temps le goût de l'absurdité s'est emparé de quelques sçavans du premier ordre, & dés là s'est répandu comme une espece de mode ; on étoit las de la clarté, on à attribuè au repos une certaine force, dont on n'a aucune idée, & qui de plus est incompatible avec la notion de repos, & tout ce qu'on connoit de sa nature, & pour donner plus de merveilleux a cette hypothese, on s'est fait plaisir d'appeller cette force imaginée du nom paradoxe de *vis inertiæ*. Ce paràdoxe a eu assez de charmes pour faire negliger la contradiction [39].

On retrouve en 1741 ce couple mouvement-repos associé à la dualité activité-privation dans un rejet de l'inertie ; l'action est synonyme de mouvement et la masse inerte ne saurait faire un « effort » :

> le corps frappé est incapable de se donner du mouvement, il est en lui-même une masse sans activité, *iners* ; le repos est bien un état réël, mais non pas un état actif ; le corps en repos ne fait

36 - Crousaz, *op. cit. in* n. 35, 110-111
37 - Crousaz, *op. cit. in* n. 35, 157.
38 - Crousaz, *op. cit. in* n. 35, 164-165.
39 - Crousaz, *op. cit. in* n. 35, 168. C'est manifestement Leibniz qui est ici visé, Crousaz évoque en effet les « forces vives », la « dunamique » puis mentionne son nom.

> aucun effort contre le corps en mouvement, il lui cède, mais il ne l'aide point, c'est au frappant qu'est dû tout le mouvement de la masse, qui devient composée des deux, & par conséquent cette masse, composée des deux, ne doit pas avoir plus de mouvement que la partie qui en est l'unique cause. Il arrive alors quelque chose de tout semblable, à ce qui arriveroit par une résistance, l'inertie, c'est-à-dire l'incapacité du dernier à se donner du mouvement, est cause de la diminution, ou pour parler plus exactement, la diminution de la vitesse du frappant est une suite de l'incapacité du frappé à se donner du mouvement [40].

L'effet de l'inertie semble ici le résultat d'un principe de conservation du mouvement. Ainsi, lors d'un choc,

> ce n'est pas, qu'une partie de son mouvement soit détruitte par une espece d'effort, de resistance, & de réaction, que luy oppose un corps en repos ; mais c'est parce que la masse étant grossie, elle doit faire moins de chemin, sans quoy le mouvement d'une premiere & d'une seconde masse, jointes ensemble, seroit plus grand que n'étoit le mouvement de la premiere seule [41].

Aussi, la pénibilité ressentie à la mise en mouvement d'un corps au repos ne provient pas de ce dernier, mais

> pour produire un tel effet [un mouvement], il faut de l'activité, il faut du mouvement, & à proportion qu'il s'en excite dans nos muscles [...] nous éprouvons de (*sic*) certains sentiments ; ces sentimens sont l'effet non d'une resistance & d'une réaction dans le corps au repos, mais d'un mouvement qui s'excite dans le nôtre, & qui y est necessaire pour servir ensuitte à ébranler de grosses masses avec une certaines vitesse [42].

Trabaud et d'Alembert : occasionalisme, inertie et causalité

La dernière forme de réception mentionnée ici relève de l'occasionalisme et du doute porté à l'encontre des causes, et donc aussi d'un questionnement autour de la force d'inertie, qui prend la forme d'une critique à l'encontre de l'axiome de proportionnalité des effets à leurs causes et d'une réduction de la mécanique à une science des effets. Ces éléments, présents dans l'œuvre de

40 - Jean Pierre de Crousaz, *De l'esprit humain* (Basle : J. Christ, 1741), 117-118.
41 - Crousaz, *op. cit. in* n. 35, 228
42 - Crousaz, *op. cit. in* n. 35, 151-152.

d'Alembert, sont associés à un contexte de « crise » de la causalité dont elle porterait les traces [43]. Un traité de Jean François Trabaud [44] témoigne du rôle de l'occasionalisme dans ce contexte de « crise », et il permet d'interroger, voire de préciser, le lien entre l'occasionalisme et les travaux de d'Alembert.

Selon Trabaud,

> lorsqu'on considere les corps en repos ou en mouvement, l'esprit ne découvre pas certainement avec évidence qu'il y a en eux quelque vertu ou puissance pour produire quoi que ce soit. Il paroît au contraire conforme à la droite raison de penser que Dieu seul produit le mouvement, & que le choc n'est que comme une occasion qui détermine cet être suprême à mouvoir les corps qui se trouvent sur le passage d'autres corps qui sont déja en mouvement [45].

Aussi n'est-il pas étonnant concernant les causes que Trabaud précise ne pas examiner « leur nature ni le lieu où elles résident ; mais on s'appliquera principalement à éxaminer leurs effets, à connoître leur caractere & la loi suivant laquelle elles agissent [46]. » Mais si « la certitude des phénomenes & des conséquences qui en suivent, n'est pas essentiellement liée à l'examen des causes », Trabaud s'interroge alors sur l'« axiome » de proportionnalité des causes à leurs effets : « Mais si dans la science du mouvement on peut se passer de la considération des causes, que deviendra l'axiome si trivial & d'un usage si fréquent : sçavoir, *que les effets sont proportionnels aux causes* ? » Le questionnement autour de cet axiome est directement lié à l'occasionalisme :

> On dira enfin selon un grand nombre de philosophes que les corps n'ont ni vertu, ni puissance, ni efficace, ni action, & que

43 - Voir Le Ru, *op. cit. in* n. 1 ; Firode, *op. cit. in* n. 1.

44 - Trabaud (? - ?) est maître de mathématiques en collège. Pour des éléments biographiques, voir Jean Le Rond d'Alembert, *Œuvres complètes*, série V, vol. 2, *Correspondance générale : 1741-1572*, éd. Irène Passeron (Paris : CNRS Éditions, 2015), 10 et 551.

45 - Trabaud, *Principes sur le mouvement et l'équilibre* (Paris : J. Desaint et C. Saillant, 1741), 210. Voir aussi p. XVII.

46 - Trabaud, *op. cit. in* n. 45, 37. Voir aussi p. XV-XVIII et 103 : « On convient assez généralement des effets [...] Ce qui montre bien que pour connoître les effets d'une cause, leur enchainement & leur dépendance mutuelle, il n'est pas nécessaire de connoître sa nature, ni en quoi elle consiste », mais qu'« il suffit que l'on puisse observer la loi suivant laquelle elle agit ».

> c'est Dieu qui opere tout, que les corps ne sont que des causes apparentes; qu'ainsi c'est en vain qu'on leur attribue des effets, & que c'est sans raison qu'on prétend que ces effets leur sont proportionnels [47].

La critique de l'axiome apparaît en 1743 dans le *Traité de dynamique* de d'Alembert et elle figure aussi, plus tardivement, chez Pierre Louis Moreau de Maupertuis [48]. La réponse apportée par Trabaud à ce doute est de considérer la mécanique comme une science des effets. Il écrit ne pas « exclure toute cause », mais « dans la nature les effets tiennent les uns aux autres ; & par cette dépendance réciproque, ils influent aussi les uns sur les autres » ; aussi un effet produit peut-il, à son tour, « devenir cause & produire d'autres effets [49] ». Ainsi,

> Il faut cependant reconnoître que la production du mouvement est l'effet d'une cause : or comme on est porté à croire qu'une force se trouve là où elle exerce son action, & qu'elle produit son effet, rien n'empêche que pour la clarté du discours, on ne considere cette force comme appliquée au corps qui choque, & comme faisant impression sur le corps choqué, laquelle demeure dans ce corps pendant tout le temps qu'il est mû ; & parce qu'un corps en mouvement lors même qu'il n'y a point de choc, est tout disposé à exercer sa force sur les corps qu'il peut rencontrer, on peut aussi considérer cette même force comme lui étant appliquée tout le tems qu'il est conservé dans le mouvement, sans qu'il soit pour cela nécessaire de sçavoir si cette force réside véritablement dans ce corps, si elle est distinguée de la premiere cause, ou si elle n'en differe pas [50].

La force est le nom d'un effet constaté employé pour la « clarté du discours » sans chercher sa nature. La force d'inertie entre naturellement dans de telles conceptions. Pour Trabaud, il s'agit d'un effet constaté qui « n'est pas l'effet d'une vraie force qui réside dans les corps & qui leur soit comme inhérente & naturelle » mais qui est « l'effet immédiat de la volonté du créateur, qui [...] a voulu que le choc ou l'impulsion fût un moyen pour

47 - Trabaud, *op. cit. in* n. 45, XIX. Sur cet « axiome » et son usage à l'époque dans la quantification des forces, voir Véronique Le Ru, *D'Alembert philosophe* (Paris : Vrin, 1994).
48 - Concernant Maupertuis, voir Firode, *op. cit. in* n. 1, 20-22.
49 - Trabaud, *op. cit. in* n. 45, XIX.
50 - Trabaud, *op. cit. in* n. 45, 210.

communiquer le mouvement, & que la résistance des corps pût occasionner le choc ». Ainsi, « M. Neuton appelle *force d'inertie* la résistance que les corps font au mouvement. Il lui attribue une réaction [...] Si ces expressions ne signifient rien de plus que le fait qu'on vient d'exposer, rien n'empêche qu'on en fasse usage [51]. »

La critique malebranchienne de la force de repos est donc bien connue dans le premier XVIII^e^ s. et sa réception revêt plusieurs formes. Ainsi, il peut s'agir d'une adhésion à la thèse du repos comme état privatif qui peut conduire à une remise en cause de l'explication de la cohésion des corps ou encore à un rejet de l'inertie. Selon certains, les thèses de Malebranche sur le repos conduisent aussi à une absence d'inertie. Il ne s'agit pas d'une conséquence de l'occasionalisme, puisque La Forge, Lamy ou Trabaud prennent en compte une résistance des corps au repos. Par ailleurs, la « réaction » ou l'« inertie » peuvent aussi relever d'une simple commodité de langage, et pour Trabaud l'inertie est un effet constaté lié à la volonté immédiate de Dieu dans un vision occasionaliste et une conception globale de la mécanique réduite à une science des effets. Le « malebranchisme physique » ne se résume ainsi pas à l'occasionalisme. Enfin, certaines de ces thèses sont présentes dans l'œuvre de d'Alembert dès son *Traité de dynamique* de 1743 qui est marqué par le rejet d'une physique causale [52]. D'Alembert y mentionne Trabaud qu'il connaît par ailleurs personnellement [53]. D'autre part, l'article « Mouvement » de l'*Encyclopédie* porte les traces d'une connaissance de la thèse de Malebranche sur le repos et de ses conséquences sur

51 - Trabaud, *op. cit. in* n. 45, 214-215 et 216-217.

52 - Voir notamment Le Ru, *op. cit. in* n. 47 ; Firode, *op. cit. in* n. 1 ; Schmit, *op. cit. in* n. 15. Voir aussi Jérôme Viard, D'Alembert et le langage scientifique : L'exemple de la force, un malentendu qui perdure, *in* Ulla Kölving et Irène Passeron (dir.), *Sciences, musiques, Lumières : Mélanges offerts à Anne-Marie Chouillet* (Ferney-Voltaire, Centre international d'étude du XVIII^e^ siècle, 2002), 93-106.

53 - D'Alembert, *Traité de dynamique* (Paris : David, 1743), 48. Voir Passeron, *op. cit. in* n. 44, 10 pour l'évocation de Trabaud dans la correspondance de d'Alembert.

l'inertie. Il en est de même de « Repos » et de « Force d'inertie [54] ».

Mécanisme des petits tourbillons : principes et méthodes explicatives

Nous avons vu que pour Malebranche « ce qui gâte le plus la physique de M. Descartes est ce faux principe que le repos a de la force » qui « influë presque partout dans son systéme [55] ». *De la recherche de la vérité* contient un « Abrégé » de physique cartésienne qui évoque en particulier comment les règles du choc et la force de repos des *Principes* de Descartes permettent une redistribution du mouvement nécessaire à son système [56]. Ainsi, la révision des règles et le rejet de cette force impliquent de repenser ce dernier. Bien que le « faux principe » soit rejeté dès 1674, les fondements du nouveau système n'apparaissent qu'à partir de 1699 dans un mémoire relatif à l'optique repris en 1700 dans l'Éclaircissement XVI de *De la recherche de la vérité* ; l'édition de 1712 de ce même Éclaircissement ajoute des éléments de mécanique céleste. Nous n'évoquons pas ici ce cheminement de la pensée de Malebranche, pas plus que nous ne détaillons le contenu de l'Éclaircissement XVI [57]. Nous soulignons ici sa dimension programmatique et comment des travaux du premier

54 - Dans « Repos », on peut lire que « les philosophes ont agité la question, si le *repos* est quelque chose de positif ou une simple privation » ; l'article renvoie à « Mouvement » et mentionne les « *Institut. de physique* de madame Du Châtelet ». « Force d'inertie » contient des développement sur le fait que le repos ait une force aussi réelle que le mouvement, et qu'on attribue aux corps des propriétés à la mesure des sensations qu'on éprouve ; il renvoie à « Mouvement » qui mentionne le livre de 1726 de Crousaz où ces conceptions sont présentes. Pour ces articles, voir http://enccre.academie-sciences.fr/encyclopedie/article/v10-2168-0/ et http://enccre.academie-sciences.fr/encyclopedie/article/v14-440-0/.

55 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. II, 449.

56 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. II, 447 : « M. Descartes sçavoit bien que pour soûtenir son systéme […] il étoit absolument nécessaire que les grands corps communicassent toûjours de leur mouvement aux petits qu'ils rencontreroient, & que les petits rejallissent à la rencontre des plus grands, sans une perte pareille du leur. Car sans cela son premier élément n'auroit pas tout le mouvement qu'il est nécessaire qu'il ait pardessus le second, ni le second pardessus le troisiéme ; & tout son systéme seroit absolument faux […] Mais en supposant que le repos ait force pour résister au mouvement, & qu'un grand corps en repos ne puisse être remué par un autre plus petit que lui […] ; il est visible que les grands corps doivent avoir beaucoup moins de mouvement qu'un pareil volume de plus petits. »

57 - On peut consulter Robinet, *op. cit. in* n. 3 ; Schmit, *op. cit. in* n. 15.

XVIII[e] s. s'inscrivent dans son prolongement.

Petits tourbillons et « vrai principe de la physique générale »

Dans le système de Malebranche,

> parce que l'Univers est comprimé par une force infinie ou comme infinie, & qu'il n'y a point de vuide, [les] parties de la matiére subtile se résistant réciproquement par leurs mouvemens divers & particuliers, il est nécessaire qu'elles se divisent sans cesse, & forment de petits tourbillons, & dans ceux-ci d'autres encore plus petits, & même encore d'autres moins durables dans les intervalles concaves que laissent entre eux les tourbillons qui se touchent. Tout cela parce que la matiere est divisible à l'infini, & que chaque partie ne fait par elle-même nulle résistance à être divisée puisque le repos n'a point de force, & que la dureté ne vient que du mouvement de ceux qui les compriment [58].

Malebranche évoque alors ce qu'il nomme « supposition » à savoir que

> la matiere subtile ou étherée n'est composée que d'une infinité de petits tourbillons, qui tournent autour de leurs centres avec une extreme rapidité, & qui se contrebalancent les uns les autres, comme les grands tourbillons que M. Descartes a expliquez dans ses Principes de philosophie [...] c'est le vrai principe de la physique générale dont dépendent les effets particuliers [59].

Ceci reçoit des justifications internes au mécanisme qui consistent à corriger et à amender l'explication cartésienne de certains phénomènes [60]. Par ailleurs, que le système des petits tourbillons offre la possibilité d'établir les lois de la réflexion et de la réfraction, la pesanteur terrestre et la troisième loi de Kepler de manière apriorique en justifierait la pertinence.

58 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. III, 270-271.
59 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. III, 270
60 - Ainsi, par exemple les boules dures du second élément de Descartes « ne pourroient pas [...] transmettre la lumiere & les différentes couleurs par le même point où les rayons se croisent », ce qu' *a contrario* rend possible leur substitution par de petits tourbillons compressibles simultanément en plusieurs points. Malebranche modifie aussi l'explication cartésienne du feu. Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. III, 255-267.

Les petits tourbillons de matière constituent alors une sorte de réservoir de puissances qui s'équilibrent mutuellement par leurs forces centrifuges. Malebranche énonce que

> toute la physique dépend de la connoissance de la matiére subtile; [...] cette matiére n'est composée que de petits tourbillons, qui [s]'équilibrent [par] leurs forces centrifuges [...] & par la rupture de leur équilibre qu'ils tendent sans cesse à rétablir, [font] tous les changemens qui arrivent dans le monde [61].

Ces situations de « rupture » rendent compte des phénomènes régis par cette « loy generale & la plus simple qu'on puisse concevoir, que tout corps soit mû du côté vers lequel il est plus pressé, & à proportion qu'il l'est d'avantage [62] » qui trouve sa raison d'être par l'équilibre qui prévaut dans l'univers, équilibre que par ailleurs cette loi permet de retrouver : « Tout corps moins pressé d'un côté que d'un autre, se meut jusqu'à ce qu'il le soit également de tous côtez [63] ». Cette « supposition » d'une matière subtile composée de petits tourbillons qui s'équilibrent fonde « le vrai principe de la physique générale dont dépendent les effets particuliers [64] ». Aussi le mécanisme explicatif d'un phénomène repose-t-il en général sur trois moments : un équilibre global régit le monde; un élément perturbateur entraîne une « rupture de [l'] équilibre » des petits tourbillons; cette rupture est l'amorce d'une action des petits tourbillons, l'explication physique étant guidée par la finalité du retour à la situation d'équilibre d'origine [65].

Ce « vrai principe » n'est cependant appliqué qu'à un nombre limité de phénomènes. Ainsi, Malebranche compose un « abbregé » des parties III et IV des *Principes de la philosophie* de Descartes, il s'appuie encore sur Descartes pour une « explication de la propriété de l'aimans » et, par ailleurs, il donne

61 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. III, 302-303.

62 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. III, 304. Il s'agit d'un mouvement vers l'endroit où le corps est le moins pressé comme en atteste le contenu de l'Éclaircissement XVI. Ainsi, l'explication de la pesanteur terrestre repose sur le fait que « tout corps [va] du côté vers lequel il est moins pressé », *ibid.*, 270.

63 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. III, 280.

64 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. III, 270.

65 - Voir Schmit, *op. cit. in* n. 15.

une explication de la cohésion des corps [66]. Mais tout ceci a avant tout pour but de « faire voir la manière dont M. Descartes s'est pris pour découvrir les choses naturelles, afin que l'on puisse comparer ses idées & sa méthode avec celle des autres philosophes [67] ». Ces textes ne reçoivent que ponctuellement des notes marginales qui indiquent des corrections à apporter aux *Principes*, en particulier le remplacement des corpuscules du deuxième élément de Descartes par des petits tourbillons [68]. Enfin, Malebranche écrit des règles pour des chocs inélastiques et élastiques, puis l'Éclaircissement xvi directement lié à l'introduction des petits tourbillons [69]. Il n'existe alors pas de théorie de la matière décrivant la formation des éléments, des corps sensibles, les réactions chimiques. Malebranche précise :

> Je n'ai pas crû devoir réformer entiérement son systême [à Descartes] sur celui que je viens de proposer, qui n'est pas tout à fait conforme au sien, quoique dans le fond il en dépende. C'est aux Lecteurs à faire cette réforme, s'ils ont assez de loisir, & que cette matiére leur paroisse agréable, & mériter leur attention, & s'ils jugent que ce que je viens d'écrire soit suffisamment démontré [70].

Un certain nombre de savants « jugent » que tel est le cas, et se réfèrent alors à « l'illustre auteur de cette découverte » des petits tourbillons, à savoir le « père Malebranche dans la recherche de la verité Eclaircissement xvi [71] » comme à « l'un des plus grands genies de ce siecle [72] ». L'Éclaircissement xvi a alors une dimension testamentaire et programmatique.

66 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. II, 321-345, 400-406, 420-449.
67 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. II, 338.
68 - Concernant l'« abbregé », voir Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. II, 327, 335. Voir aussi p. 337 un renvoi vers l'Éclaircissement xvi pour une explication de la pesanteur.
69 - Voir Malebranche, *op. cit. in* n. 3, t. III et XVII-1.
70 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, *op. cit. in* n. 3, t. III, 305.
71 - Mazière, *op. cit. in* n. 22, 17.
72 - Jean-Jacques Dortous de Mairan, *Dissertation sur la glace* (Bordeaux : Brun, 1716), 9.

Les petits tourbillons après Malebranche

Le tabl. 2 en annexe contient une liste de travaux qui s'appuient sur la théorie des petits tourbillons et leurs ruptures d'équilibre. On y voit la diversité des domaines abordés, qu'il s'agisse de la nature du tonnerre, de l'air, du feu, de la lumière, de la glace, de sujets liés au magnétisme, à l'électricité, à la mécanique céleste, à la chimie… Certains livres comme les *Leçons de physique* de Privat de Molières recouvrent tous ces champs. Elle témoigne aussi de la diversité des formes de publications : traités, cours, pamphlets et prix académiques (académies des sciences de Bordeaux, de Paris, de Saint Pétersbourg) qui attestent d'une large diffusion et d'une reconnaissance. Ces écrits sont l'œuvre de savants reconnus, comme Jean II Bernoulli, ou d'académiciens parisiens (Molières, Jean-Jacques Dortous de Mairan, Pierre-Simon Gamaches) ; Laurent Béraud a été l'enseignant de Charles Bossut, de Joseph Jérôme Lefrançois de Lalande et de Jean-Etienne Montucla au collège jésuite de la Trinité de Lyon. Plutôt que proposer une analyse d'explications de phénomènes naturels dans le cadre de cette théorie, nous donnons ici un aperçu de différentes justifications apportées à ce système [73]. Elles relèvent en particulier d'une critique interne au mécanisme en suivant la voie ouverte par Malebranche, et par ailleurs ce système est mobilisé pour répondre à des critiques à l'encontre d'une physique tourbillonnaire.

Mécanisme : système des tourbillons, théorie de la matière et physique

Selon Molières, le principe de conservation du mouvement sur lequel Descartes fonde son système repose sur ces « principes » que « le repos avoit une force capable de résister au mouvement, & de laquelle il faisoit dépendre la dureté : que les mouvemens contraires ne se détruisoient pas par le choc : qu'un petit corps lorsqu'il en choquoit un grand, retournoit en arriere ou se réfléchissoit sans ébranler le grand » ; Descartes élaborerait sur de tels principes ses trois éléments, les mouvements qu'ils se communiquent et donc l'ensemble du système du monde. Or, l'expérience infirme ces « principes » et ces « éléments de Descartes

73 - Pour une analyse de ces deux points, Schmit, *op. cit. in* n. 15.

[...] ne peuvent subsister dans la nature selon les loix des mécaniques » ; en effet, « les parties de la matiere de son premier élément [...] quelque vitesse qu'elles eussent pû avoir reçuë dès le commencement, auroient dû aussitôt l'avoir perduë, en la communiquant aux parties de son second & de son troisiéme élément qu'il suppose [...] plus grosses ». Après « un certain nombre de chocs », la matière subtile du premier élément perdrait sa vitesse comme le ferait le second élément par rapport au troisième [74] ; le mouvement ne serait donc pas durable. Sa persistance requiert au niveau microscopique le type de mouvement qui a été conçu à l'échelle des cieux : « Le mouvement qu'il est nécessaire de supposer dans la matiere qui compose chacun des grands tourbillons, pour expliquer les phénomenes, ne peut pareillement y subsister, si ses moindres parties se meuvent d'une façon confuse & en tous sens, à moins que ce ne soit en tourbillons [75]. » Ainsi,

> le mouvement ne peut être constant & uniforme dans les moindres parties d'un fluide, si elles n'ont pas la forme de tourbillon ; car si elles se mouvoient autrement, elles ne pourroient manquer de se rencontrer à chaque instant, & de perdre par-là le mouvement qui leur est nécessaire afin qu'elles forment toujours un fluide [76].

Selon Mairan, « dès qu'on voudra attacher une idée claire & distincte à ce fluide [la matière subtile], on tombera nécessairement dans l'hypothèse des petits tourbillons dont le p. Malebranche a composé sa matière éthérée », et il précise souscrire à la « condamnation » de ce fluide « si l'on entend par-là le premier élément de Descartes sans restriction, & plus encore s'il s'agit de ces globules durs & inflexibles dont il [Descartes] remplissoit l'Univers & que je crois insoûtenables [77] ».

Dès lors, « l'hipothese des petits tourbillons » est « une simple

74 - Molières, *op. cit. in* n. 25, t. I, 310-317. Voir aussi t. II, 5-6.
75 - Molières, *op. cit. in* n. 25, t. I, 320-321.
76 - J.-B. Le Corgne de Launay, *Principes du systéme des petits tourbillons* (Paris : C. A. Jombert, 1743), 86-87.
77 - Jean-Jacques Dortous de Mairan, *Dissertation sur la glace*, 4e éd. (Paris : Imprimerie royale, 1749), XXVI, XVI-XVII.

extension de celle des grands tourbillons de Descartes [78] » :

> pour donner à l'hipotèse cartésienne toute l'étendue qu'elle doit avoir [...] il faut ajouter les petits tourbillons dont on doit la découverte aux phisiciens modernes, & que la loi de l'analogie offre à tout esprit attentif. Car si rien n'est ni grand ni petit que par comparaison, & que le même méchanisme qui distribue le mouvement dans les espaces finis doive pareillement le distribuer dans ceux que leur petitesse nous dérobe, on sent qu'on ne peut remplir l'Univers de tourbillons entassés les uns sur les autres, sans s'obliger à reconnoître que l'éther n'est autre chose qu'un assemblage de petits tourbillons composés d'une infinité d'autres plus petits, qui eux-mêmes en renferment de plus petits encore, & ainsi à l'infini [79].

L'analogie invite à « transporter » en chimie « ce que nos yeux voyent à découvert dans le sistême de Jupiter & de Saturne » : Molières élabore les corpuscules de l'air, de l'eau, des métaux... avec des assemblages de globules au centre de petits tourbillons qui eux-mêmes entraînent d'autres corpuscules sur le modèle des planètes et de leurs satellites ; ces « élémens [chimiques] se ressemblent, ils ne différent entr'eux que du petit au grand [...] Toutes ces molécules ne sont en général que *des petits tourbillons composés d'autres petits tourbillons, qui ont à leur centre un globule dur & pesant* [80] ». Un autre type d'analogie est alors convoqué pour justifier de telles conceptions : Dieu « s'est procuré les mêmes avantages que les Géomètres de nos jours se sont procurés eux-mêmes, dans les dimensions de l'étenduë, en y considerant des infiniment petits de tous les ordres [81] ».

À ces considérations s'ajoute la dénonciation d'une erreur de méthode chez Descartes. En effet, pour Malebranche le « ressort » et la « dureté » proviennent d'une même cause, l'action de la matière subtile, tandis que Descartes explique l'élasticité des corps par la matière subtile [82] et la cohésion par la force de repos qui est qualifiée de « cause arbitraire », voire de « principe

78 - Molières, *op. cit. in* n. 25, t. I, 324. Voir Launay, *op. cit. in* n. 76, 84 ; C.-H. de Keranflech, *L'Hypothése des petits tourbillons, justifiées par ses usages* (Rennes : Julien-Charles Vatar, 1761), 48-49.
79 - Pierre-Simon Gamaches, *Astronomie physique* (Paris, C.-A. Jombert, 1741), xxv.
80 - Molières, *op. cit. in* n. 25, t. III, 204-206.
81 - Molières, *op. cit. in* n. 25, t. I, 331.
82 - Voir Descartes, *op. cit. in* n. 7, 270-271.

métaphysique[83] ». Cette économie de principes est une critique contre Descartes et ceux qualifiés de « cartésiens » qui attribueraient gratuitement la dureté et des formes particulières aux corps telles que des « pointes » pour les acides ou encore des « fourreaux » pour les alkalis[84] : ces corpuscules et les corps sensibles doivent être réinterprétés mécaniquement dans le cadre des petits tourbillons car ils sont notamment fondés sur la force de repos qui permet, selon Molières, d'attribuer arbitrairement les figures adéquates pour les effets souhaités[85]. Ainsi, la « multiplicité de ses [Descartes] suppositions », la « *force* qu'il attribuoit au simple repos [...] la *réfléxion* [des corps] à laquelle il n'assignoit aucune cause phisique & mécanique [...] ce *mouvement confus* des parties de la matiere subtile qui ne lui manquoit jamais en aucune occasion, &c. » suggèrent d'abandonner le système cartésien[86]. Les petits tourbillons fondent une nouvelle théorie de la matière et une nouvelle « chimie physique[87] » qui critique systématiquement les « chimistes cartésiens » et rejette les attractions et les répulsions à distances des « chimistes newtoniens[88] ». Cette chimie se fonde sur ce que Molières nomme le « ciseau universel » : les réactions sont « une conséquence directe du mouvement circulaire » et plus

83 - Voir Molières, *op. cit. in* n. 25, t. II, 39 et la 2e éd. du même livre (Paris : G. Deprez et P. G. Cavalier, 1745), t. II, 77-78.

84 - Voir Molières, *op. cit. in* n. 25, t. III, 128-131. Sur ce type de chimie au tournant des XVIIe et XVIIIe s., voir Bernard Joly, *Descartes et la chimie* (Paris : Vrin, 2011) et *idem*, L'anti-newtonianisme dans la chimie française au début du XVIIIe siècle, *Archives internationales d'histoire des sciences*, 53 (2003), 213-224 ; Antonio Clericuzio, *Principles and corpuscules : A study of atomism and chemistry in the seventeenth century* (Dordrecht : Kluwer, 2000).

85 - Selon Molières, avec cette thèse d'une dureté issue de la force du repos, Descartes « ne se mit pas beaucoup en peine de rechercher distinctement les causes mécaniques qui pouvoient procurer aux parties de la matiere qu'il consideroient, les figures qu'il jugeoit à propos de leur attribuer, pour parvenir plus aisément à l'explication des effets », d'où ce « recours sur la seule inspection d'un effet, à des figures bizarres », Molières, *op. cit. in* n. 25, t. II, 24-25, voir aussi p. 13.

86 - Molières, *op. cit. in* n. 25, t. I, 322.

87 - Molières, *op. cit. in* n. 25, t. III, 3-4.

88 - Pour ces termes, Molières, *op. cit. in* n. 25, t. II, 413-419. Voir aussi p. 284-295 où il mentionne notamment Stephen Hales, *La Statique des végétaux et l'analyse de l'air* (Paris : Debure l'aîné, 1735) où ces forces constituent le cadre théorique pour interpréter propriétés de l'air. Les *Leçons* mentionnent aussi les noms d'Etienne François Geoffroy ou encore d'Hermann Boerhaave.

précisément de ruptures d'équilibre entre petits tourbillons [89].

Ces tourbillons sont aussi mobilisés pour réinterpréter des théories mécanistes, en particulier justifier la nature ondulatoire de la lumière et les preuves des lois de la réflexion et de la réfraction données par Christian Huygens [90]. Ils s'inscrivent aussi dans une actualité scientifique. Ainsi, la partie sur l'électricité des *Leçons* de Molières explique les « Phenomenes merveilleux de l'électricité qui ont été découverts de notre temps [91] » et l'enjeu est d'interpréter des expériences des années 1730 de Charles François de Cisternay Dufay [92] à l'aide des petits tourbillons ; ceci devrait souligner la pertinence d'un système capable d'expliquer les découvertes les plus récentes. Dans ses travaux essentiellement expérimentaux, Dufay définit la « vertu électrique » comme la capacité « qu'ont les corps électriques d'attirer, mais aussi celle de repousser les corps qu'ils ont attirés [93] » : Molières rejette « la supposition d'un principe d'*attraction* & de *répulsion* indépendante de l'impulsion [94] » et s'appuie sur l'équilibre et la rupture d'équilibre de petits tourbillons. Pour leur part, Béraud et Keranflech recourent aussi aux petits tourbillons pour expliquer les phénomènes électriques, et suivent en ceci le travail initié par Molières, en même temps que leurs travaux témoignent d'une lecture approfondie de ceux de Jean Antoine Nollet et de Jean

89 - Molières, *op. cit. in* n. 25, t. III, 139-140. Voir p. 277 : « La fermentation [...] commence [...] par la rupture d'équilibre entre les molécules d'huile [...] dans la matiere à dissoudre, & de l'huile [...] dans la matiere du dissolvant, lesquelles doivent être plus grandes, ou avoir moins de force centrifuge que les premiers. Car c'est là le ciseau universel qui sépare & divise. » Ces molécules d'huile sont de petits tourbillons chargés de corpuscules qui remplissent les pores des acides et des métaux. Les pores de ceux-ci sont plus resserrés que ceux des solutions, et ces tourbillons ont alors plus de force centrifuge ce qui entraîne un déséquilibre : les tourbillons dans le métal s'agrandissent, enlèvent des parties du solide et par cette expansion perdent de leur force jusqu'à équilibrer les tourbillons de la solution. *Ibid.*, 251-262. Voir une explication similaire chez Keranflech, *op. cit. in* n. 78, 116. Ce même « ciseau universel » est le principe de la formation de la glace dans Mairan, *op. cit. in* n. 72 et 77.

90 - Molières, *op. cit. in* n. 25, t. IV, 462-519. Voir des travaux semblables chez Launay, *op. cit. in* n. 76 et Keranflech, *op. cit. in* n. 78.

91 - Molières, *op. cit. in* n. 25, t. III, table des matières non paginée.

92 - Sur ces travaux, voir Heilbron, *Electricity in the 17th & 18th centuries* (New York : Dover publications, 1999), 250-260.

93 - Charles François de Cisternay Dufay, Quatriéme mémoire sur l'électricité, *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1733 (1735), Mémoires, 457.

94 - Molières, *op. cit. in* n. 25, t. III, 438.

Jallabert[95]; il s'agit, comme le fit avant eux Molières avec Dufay, d'interpréter des travaux de la décennie 1740 par le nouveau système[96].

De la mécanique au mécanisme

Le système des petits tourbillons repose aussi sur des propositions de mécanique rationnelle, et sur des lois expérimentales utilisées pour justifier une physique tourbillonnaire.

Une de ces propositions établit que si un mobile glisse sur une courbe assimilée à un polygone de côtés infiniment petits, il perd à chaque discontinuité une quantité infiniment petite du deuxième ordre de sa vitesse, soit une quantité du premier ordre en considérant une infinité de côté[97]. Qu'on suppose ce corps en mouvement sur un cercle ou une ellipse, sa perte de mouvement lors d'une révolution totale serait alors négligeable. Ce mobile peut être un petit tourbillon et la courbe la surface de couches de grands tourbillons célestes, couches qui ne sont que des assemblages de petits tourbillons. Ainsi, les frottements des surfaces sur lesquelles le petit tourbillon circule lui font perdre une vitesse négligeable, et il en serait de même pour chaque tourbillon de chaque couche[98]. Ceci fonde la possibilité de révolutions de couches de tourbillons indépendamment de frottements : ils existent mais, d'une part, ils sont négligeables car ils font perdre des vitesses infiniment petites et, d'autre part, ils permettent de comprendre le processus physique d'entraînement de couches fluides tout en faisant que celles-ci respectent

95 - Sur ces travaux, voir Heilbron, *op. cit. in* n. 92; Isaac Benguigui, *Théories électriques du XVIII^e^ siècle : Correspondance Nollet-Jallabert* (Georg : Genève, 1984).

96 - Sur l'électricité chez Molières, Béraud et Keranflech, voir Schmit, *op. cit. in* n. 15, 629-652.

97 - On trouve cette proposition dans des travaux de Pierre Varignon, Trabaud, Jacob 's Gravesande, Le Seur et Jacquier ou encore Émilie Du Châtelet. Voir Christophe Schmit, Lois du mouvement et mathématisation de la force dans les commentaires des Principia des pères Le Seur et Jacquier, *in* G. Montègre, P. Crépel (dir.), *François Jacquier : Un savant des Lumières entre le cloître et le monde* (Nancy : Presses universitaires de Nancy, 2017), 169-192.

98 - Pour ce raisonnement, voir Molières, *op. cit. in* n. 25, t. I, 82-83; Gamaches, *op. cit. in* n. 79, 135-136; Launay, *op. cit. in* n. 76, 35-37.

la troisième loi de Kepler [99].

En effet, sur ce dernier point, Gamaches s'appuie sur une loi expérimentale des frottements solides pour réfuter l'incompatibilité dénoncée par Newton du mouvement tourbillonnaire de couches fluides avec la troisième loi de Kepler [100]. Dans ses calculs, Newton considère que l'entraînement des couches résulte des frottements qu'elles exercent mutuellement et qu'ils dépendent de leur vitesse respective et des surfaces de contact. Pour sa part, Gamaches s'appuie sur une loi expérimentale de Guillaume Amontons selon laquelle les frottements dépendent seulement de la pression mutuelle et non des superficies de contact [101]. Qu'on suppose deux corps reposant l'un sur l'autre et dont les surfaces comprennent de petites éminences. Si ces dernières se brisent lorsque les surfaces glissent l'une sur l'autre, une plus grande surface implique nécessairement des frottements plus importants ; il faut alors tenir compte de la superficie comme paramètre et, selon Gamaches, c'est ce que Newton fait dans ses calculs. Mais les petits tourbillons sont comprimables et reprennent leur forme par leurs forces centrifuges, ils ne sont pas durs et ne se brisent pas, et il faut alors tenir compte de la seule pression exercée. À partir d'un tel modèle et de cette loi, Gamaches établit que les circulations des couches des grands tourbillons célestes respectent la troisième de loi de Kepler [102].

Ces tentatives pour fonder le système sur la mécanique rationnelle s'inscrivent dans un contexte polémique de défense

99 - Sur les réponses apportées par Molières face aux critiques Newton des tourbillons célestes de Descartes, voir Pierre Brunet, *L'Introduction des théories de Newton en France au XVIII^e^ siècle avant 1738* (Paris : A. Blanchard, 1931) ; Carlo Borghero, *Les Cartésiens face à Newton : Philosophie, science et religion dans la première moitié du XVIII^e^ siècle* (Turnhout : Brepols, 2011).

100 - Isaac Newton, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, trad. Émilie Du Châtelet (Paris : Desaint et Saillant, 1759), t. I, 416-422. Il établit que lorsque le mouvement des couches d'un « fluide homogène & infini » est provoqué par la « seule impulsion » due à la rotation d'« une sphere solide [qui] tourne d'un mouvement uniforme » les périodes de révolution des « orbes » sont proportionnelles au carré de leurs rayons. Si les planètes étaient emportées par une telle matière fluide leur mouvement ne respecterait donc pas la troisième loi de Kepler.

101 - Guillaume Amontons, De la résistance causée dans les machines, *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1699 (1732), Mémoires, 206-222.

102 - Gamaches, *op. cit. in* n. 79, 179-187. Pour cette démonstration, Schmit, *op. cit. in* n. 15, 388-396.

du mécanisme [103] et visent à se placer sur le terrain même de Newton dont elles cherchent à assimiler le savoir. Molières écrit que « ce n'est que sur les loix des mécaniques, bien mieux déterminées que Descartes ne l'avoit fait, qu'il [Newton] fonde ses principales assertions, & ses plus fortes difficultés contre le système du plein & les tourbillons de Descartes ». Il ajoute que toute la « physique [de Newton] n'est qu'un [...] mécanisme interrompu », car elle ne recourt pas à la matière subtile, et tache alors pour sa part de « rendre le mécanisme continu [104] » ; les petits tourbillons fonderaient mécaniquement une loi telle que la gravitation [105]. Ces tourbillons donnent au système de Descartes « toute la perfection dont il est susceptible [106] » car ils n'introduisent pas de « suppositions nouvelles » au sein du mécanisme [107] (comme la force de repos, les réflexions des corps sans cause mécanique, des formes gratuites donnée au corps), mais repose sur une simplicité et une économie au niveau des causes car elles sont basées sur les seules « règles & les propriétés du mouvement circulaire [108] ».

Conclusion

Outre l'occasionalisme, le « malebranchisme physique » se traduirait aussi par une réflexion sur la matière à partir du système de Descartes qui toucherait aux fondements de la mécanique classique (le principe d'inertie), qui poserait un questionnement sur la causalité physique, et qui contribuerait à l'élaboration d'une des formes prise par la philosophie mécanique au XVIII^{e} s. Ce mécanisme est souvent examiné [109] à travers le prisme de l'histoire de la réception du newtonianisme et des querelles entre « cartésiens » et « newtoniens ». Il mérite d'être étu-

103 - Sur ce contexte, voir parmi de nombreuses études Brunet, *op. cit. in* n. 99, Henri Guerlac, *Newton on the continent* (Ithaca, Londres : Cornell University Press, 1981); John Bennett Shank, *The Newton wars and the beginning of the French Enlightenment* (Chicago, The University of Chicago Press, 2008); Borghero, *op. cit. in* n. 99 ; Crépel, Schmit, *op. cit. in* n. 27.

104 - Molières, *op. cit. in* n. 25, t. I, VII-X.

105 - Voir Schmit, *op. cit. in* n. 15, 375-396, 535-557.

106 - Keranflech, *op. cit. in* n. 78, 30.

107 - Molières, *op. cit. in* n. 25, t. II, 25-26 et t. I, 322.

108 - Keranflech, *op. cit. in* n. 78, 61-62.

109 - Voir en particulier Guerlac, *op. cit. in* n. 103 ; Borghero, *op. cit. in* n. 99 ; Shank, *op. cit. in* n. 103.

dié pour lui-même, et la prise de distance de savants qui tout en se réclamant du cartésianisme critiquent ceux qu'ils nomment « cartésiens » ne saurait être minimisée ni réduite à un simple élément rhétorique : la réforme qu'ils préconisent touche aux principes, aux lois et aux méthodes explicatives de la science de Descartes, et donne naissance à un « cartésianisme moderne », caractérisé par « l'hypothèse complette des tourbillons grands & petits [110] », largement répandu dans le paysage scientifique français de l'époque.

Tabl. 1

Pierre Varignon (1654-1722)	Conjectures sur la dureté des corps (31 mars 1692)	Mémoire académique
François Lamy (1636-1711)	*Lettres philosophiques sur divers sujets importans* (1703)	Traité
Antoine Parent (1666-1716)	*Essai et recherches de mathématiques et de physique* (1713)	Traité
Jean Jacques Dortous de Mairan (1678-1771)	*Dissertation sur la glace* (1716, 1749)	Prix de l'acad. des sc. de Bordeaux, traité
Saulmon (? - ?)	De la dureté des corps	Mémoire académique
Jean Simon Mazière (?-1761)	Les loix du choc à ressort parfait ou imparfait (1726) ; Traité des petits tourbillons de la matière subtile	Prix académique
Louis Antoine Lozeran du Fesc (1697-1755)	Dissertation sur la dureté, la molesse et la fluidité des corps (1735)	Prix de l'acad. des sc. de Bordeaux
Joseph Privat de Molières (1676-1742)	*Leçons de phisique* (1733-1739)	Cours
Charles Cheynet (1668-1762)	Dissertation sur le repos des corps, ou la privation du mouvement	Acad. des sciences et belles lettres de Lyon, août 1745
Louis Borde (1711-1781)	Réflexions sur le mouvement et le repos	*Ibid.*

110 - C.-H. de Keranflech, *Observations sur le cartésianisme moderne* (Rennes : Julien-Charles Vatar, 1774), 126.

Tabl. 2

Jean Bouillet (1690-1777)	Multiplication des ferments (1719)	Prix de l'acad. des sc. de Bordeaux
Idem	Cause de la pesanteur (1720)	
Jean-Simon Mazière (?-1761)	Lois des chocs élastiques (1726)	Prix de l'Acad. royale des sc. de Paris
Idem	Traité des petits tourbillons (1727)	Traité
L. A. Lozeran du Fesc (1697-1755)	La cause et la nature du tonnerre et des éclairs (1726)	Prix de l'acad. des sc. de Bordeaux
Idem	La nature de l'air (1733)	Prix de l'acad. des sc. de Bordeaux
Idem	Dureté, mollesse, fluidité (1735)	Prix de l'acad. des sc. de Bordeaux
Idem	Feu et sa propagation (1738)	Prix de l'Acad. royale des sc. de Paris
Joseph Privat de Molières (1676-1742)	*Leçons de phisique* (1733-1739) (tous les domaines)	Cours
Jean II Bernoulli (1710-1790)	Propagation de la lumière (1736)	Prix de l'Académie royale
Pierre-Simon Gamaches (1672-1756)	*Astronomie physique* (1741)	Traité
J.-B. Le Corgne de Launay (1724-1804)	Réponses aux objections de Sigorgne (1741)	Traité
Idem	*Principes du systéme des petits tourbillons* (1743)	Traité
Laurent Béraud (1703-1777)	Cause de l'augmentation de poids lors calcination (1747)	Prix de l'acad. des sc. de Bordeaux
Idem	Cause des effets de l'aimant, de l'électricité (1748)	Accessit Saint-Pétersbourg
Idem	Theoria electricitatis (1755)	
J. J. Dortous de Mairan (1678-1771)	*Dissertation sur la glace* (1716, 1717, 1730, 1749)	Prix de l'acad. des sc. de Bordeaux
C.-H. de Keranflech (1711-1787)	*L'Hypothése des petits tourbillons* (1761)	Traité
Idem	Observations sur le Cartésianisme moderne 1774	Traité

Nombres et combinaisons dans les cercles malebranchistes

Catherine Goldstein *

Résumé : Il a longtemps été considéré, en particulier depuis les travaux d'André Robinet, que les recherches mathématiques des cercles malebranchistes orientées vers le calcul différentiel et intégral à la fin du XVII[e] siècle étaient les seules vraiment novatrices (ou au moins adossées à l'innovation) de ces cercles, celles traitant des équations algébriques ou d'analyse diophantienne restant trop attachées à une approche cartésienne. Cette description a été remise en cause plus récemment de plusieurs points de vue, en particulier par Katia Asselah, Sandra Bella et Claire Schwartz. Dans la suite de leurs travaux, nous examinons ici, à travers plusieurs exemples, les pistes ouvertes par les recherches algébriques et arithmétiques des proches de Malebranche, en particulier les problèmes posés par la réécriture symbolique des résultats, des méthodes et des preuves de leurs prédécesseurs, et les effets de l'intégration de concepts combinatoires dans leurs recherches. Outre une continuité plus grande qu'attendue entre les différentes thématiques de ces cercles, ces exemples mettent en évidence la fécondité potentielle de la synthèse qu'ils opèrent entre plusieurs traditions de recherches sur les nombres.

Mots-clés : Nicolas Malebranche ; Jean Prestet ; analyse diophantienne ; combinaisons ; histoire de l'algèbre symbolique.

Summary: *Following the work of André Robinet, the mathematical research carried out on differential and integral calculus in Malebranchist circles at the end of the 17th century has been considered their only truly innovative (or at least innovation-oriented) work, while that dealing with algebraic equations or Diophantine analysis remained too attached to a Cartesian approach. This description has been challenged more recently from several points of view, in particular by Katia Asselah, Sandra Bella and Claire Schwartz. Following on from their work, we use a number of examples to examine the avenues opened up by the algebraic and arithmetical research of Malebranche's collaborators, in particular the problems posed by the symbolic rewriting of their predecessors' results, methods and proofs, and the effects of integrating combinatorial concepts into their research. In addition to the greater-than-expected continuity between the different themes of these groups,*

* Catherine Goldstein, Institut de mathématiques de Jussieu – Paris Rive gauche, Case 247, 4 place Jussieu, 75 252 Paris Cedex 05, France. Email : catherine.goldstein@imj-prg.fr.

these examples highlight the potential fruitfulness of the synthesis they bring about between several traditions of research on numbers.

Keywords: *Nicolas Malebranche; Jean Prestet; Diophantine analysis; combinations; history of symbolic algebra.*

Le rôle de Nicolas Malebranche et de ses proches dans le développement des mathématiques de la fin du XVII^e siècle en France a été longtemps découpé en deux périodes : la première période, jusqu'aux années 1690, correspondant à une phase d'initiation du philosophe, est parallèle à l'élaboration initiale de sa *Recherche de la vérité* et concorderait avec l'assimilation et la promotion des travaux de René Descartes et de ses épigones ; la seconde période correspondrait à la découverte des travaux sur le calcul différentiel, grâce en particulier à la proximité de Malebranche avec Gottfried Wilhelm Leibniz et surtout Guillaume de l'Hôpital, découverte qui renouvellerait les ouvrages de référence et les travaux innovants des cercles malebranchistes, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'Académie des sciences. André Robinet, dans ses travaux fondamentaux sur Malebranche, a particulièrement insisté sur cette dichotomie, ne considérant comme novatrices (ou au moins adossées à l'innovation) que les recherches du cercle malebranchiste orientées vers le calcul différentiel et intégral et le traitement de l'infini, les autres thèmes hérités de la première période – par exemple les équations algébriques ou l'analyse diophantienne – lui semblant une simple « défense de l'acquis [1] ». Il écrit ainsi : « Quand, en 1690, Malebranche reprit ses études scientifiques, la révolution du calcul de l'infini battait son plein. La disparition d'un entourage d'obédience cartésienne (Prestet et Catelan), qui retardait jusqu'alors l'Oratorien, laissait le champ libre à l'influence du nouvel esprit scientifique [2]. » Cette position s'ajuste à celle de contemporains célèbres de Malebranche, tel Leibniz qui écrit à Malebranche vers 1693, après la mort de Jean

1 - André Robinet, Jean Prestet ou la bonne foi cartésienne, *Revue d'histoire des sciences*, 13 (1960), 95-104, citation p. 99 : « L'histoire intérieure du groupe malebranchiste est donc faite de deux époques. La vieille garde, Prestet et Catelan, accompagna le maître durant sa propre formation et le soutint lors de ses premiers écrits. Mais Malebranche n'inventait pas pour maintenir. L'erreur de Prestet et de Catelan est d'avoir fait passer la défense de l'acquis avant la découverte du neuf. La mentalité de Malebranche est une mentalité de moderne, non d'ancien. »

2 - André Robinet, Le groupe malebranchiste introducteur du Calcul infinitésimal en France, *Revue d'histoire des sciences*, 13 (1960), 287-308, citation p. 287.

Prestet : « Je n'ay pas vu la seconde édition de l'ouvrage de feu M. Prestet. Comme il s'appliquait principalement à l'analyse, il y aurait pu avancer considérablement cette science, s'il n'avoit été trop attaché aux idées seules de l'analyse de M. Des Cartes, ce qui avoit borné ses vues [3]. »

Cette coupure brutale, en deux périodes, des points de vue de Malebranche sur les mathématiques a été récemment remise en question par Claire Schwartz qui a analysé de manière convaincante les continuités profondes de ses intérêts et de ses perspectives dans ce domaine [4]. D'autres recherches ont été consacrées à des examens plus approfondis de certains travaux de « l'entourage d'obédience cartésienne », en particulier de Jean Prestet, en en soulignant l'originalité et le potentiel [5].

Nous voudrions ici approfondir et élargir l'examen de ces mathématiques « de l'acquis » dans les cercles malebranchistes : sans remettre en cause l'importance du calcul infinitésimal, il s'agit plutôt de réfuter l'idée que les questions liées à ce calcul étaient seules prometteuses, et de réévaluer le récit canonique de l'évolution des mathématiques, souvent encore représentée de manière trop linéaire. Nous reviendrons d'abord brièvement sur l'usage multiforme du symbolisme et de l'analyse de Descartes par les malebranchistes, en particulier pour montrer les difficultés concrètes (et à notre avis sous-estimées) de leur mise en œuvre généralisée : nous nous concentrerons ici sur les problèmes portant sur les nombres rationnels, et plus encore sur les entiers. Nous verrons ensuite comment, sur certaines de ces

3 - Nicolas Malebranche, *Œuvres complètes* (Paris : Vrin, 1978), t. XIX, *Correspondance, Actes et documents 1690-1715*, recueillis et présentés par André Robinet, 601.

4 - Claire Schwartz, *Malebranche : mathématiques et philosophie* (Paris : Sorbonne Université Presses, 2019). Un exemple concret de thème commun à deux proches de Malebranche associés à des périodes distinctes, Prestet et L'Hôpital, exemple sur lequel nous reviendrons, est présenté dans Sandra Bella, Avec Pascal, contre Wallis : démontrer « géométriquement » l'Arithmétique des infinis (circa 1690-1692), *Revue d'histoire des sciences*, 76 (2023), 407-445.

5 - Jean Cassinet, Problèmes diophantiens en France à la fin du XVII^e siècle : J. de Billy, J. Ozanam, J. Prestet (1670-1689), *Cahiers du Séminaire d'histoire des mathématiques de Toulouse*, 10 (1987), 13-41 ; Catherine Goldstein, On a Seventeenth-Century Version of the Fundamental Theorem of Arithmetic, *Historia Mathematica*, 19 (1992), 177–187 ; Katia Asselah, « Arithmétique et algèbre dans la seconde moitié du XVII^e siècle français : Les *Élémens* et *Nouveaux élémens de mathématiques* de Jean Prestet », thèse de doctorat (univ. Paris-VII, 2005) ; Katia Asselah, Jean Prestet : Algèbre et combinatoire dans la résolution des équations, *Bollettino di storia delle scienze matematiche*, 31 (2011), 9-34.

questions, les oratoriens et les proches de Malebranche ont participé à la transmission d'autres auteurs de la première moitié du XVII^e siècle que Descartes, comme Pierre Fermat et surtout Blaise Pascal. Enfin, nous montrerons que l'association originale de ces héritages ouvre des voies nouvelles et fructueuses, même si leur potentiel ne se dévoile pleinement à notre appréciation qu'à la lumière des transformations de l'algèbre un siècle plus tard – un paradoxe historiographique auquel il s'agira en conclusion de donner sens.

Relire à l'aune de l'analyse cartésienne

La réception cartésienne, mise à l'honneur dans la description des priorités de Malebranche et de son premier cercle – et confirmée par les déclarations mêmes de ce cercle [6] –, est une réception quelque peu surprenante, dans la mesure où ces priorités mêmes, privilégiant les idées et les relations entre grandeurs, plutôt que l'imagination et les sens nécessaires à la géométrie, aboutissent à mettre au premier plan l'arithmétique étendue à l'algèbre, clé pour toutes les autres sciences [7]. La concordance épistémologique avec Descartes n'entraîne donc pas de concordance thématique : il s'agit plutôt de témoigner de la supériorité de l'analyse cartésienne sur ces terrains jusqu'alors délaissés. Nous en donnerons deux exemples, empruntés aux *Élémens des*

6 - Voir par exemple Jean Prestet, *Nouveaux élémens des mathématiques* (Paris : Pralard, 1689), t. 2, préface, s. p. : « Mais on peut bien avancer sans crainte que la méthode de Monsieur Descartes est autant au-dessus de celle de Monsieur Viete que celle-ci l'est au-dessus des autres. Et je ne crois pas que l'on en puisse jamais découvrir qui l'emporte sur elle, ni qui ait tout ensemble autant d'étendue & de fécondité, autant de facilité, & autant de lumière. »

7 - Sur ces questions très débattues, voir entre autres : André Robinet, La philosophie malebranchiste des mathématiques, *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 14 (1961), 205-254 ; Frédéric de Buzon, Le Bon usage de l'imagination : Malebranche lecteur des *Regulae ad directionem ingenii*, *Rivista di storia della filosofia*, 67 (2012), 671–90 ; Emanuela Scribano, Malebranche entre Descartes et saint Augustin, *in* Delphine Kolesnik-Antoine (dir.), *Qu'est-ce qu'être cartésien ?* (Paris : ENS Éditions, 2013) ; Schwartz, *op. cit. in* n. 4 ; Catherine Goldstein, Jean Prestet's *Éléments des mathématiques* : A Cartesian textbook by a Cartesian author ? *in* Philip Beeley et Ciaran Mac an Bhaird (dir.), *Mathematical book histories : Printing, provenance, and practices of reading* (Cham : Springer, 2024), 389-427.

mathématiques de Jean Prestet [8], ouvrage fondé sur une arithmétique étendue des nombres aux « multinomes » (nos polynômes) en concordance avec les priorités décrites plus haut [9].

Algébriser une preuve géométrique

Descartes, comme aussi les auteurs jansénistes, a critiqué les preuves par l'absurde qui intervenaient régulièrement dans les traités euclidiens, mais, selon leurs détracteurs, n'éclairaient pas l'esprit ; Pierre Fermat lui-même a essuyé des critiques variées en proposant des problèmes « impossibles », c'est-à-dire où il s'agit de prouver (par l'absurde) une impossibilité, comme son fameux Grand Théorème [10]. Mais dans les cas où des procédures euclidiennes aboutissent à un résultat explicite, en particulier numérique, la transcription algébrique et la mise en formules de ces procédures peuvent sembler une simple routine. Or, l'enjeu peut être plus important, en particulier lorsque la géométrie est appelée à la rescousse et louée en tant qu'heuristique.

Christoph Clavius traite ainsi dans son propre traité d'algèbre le problème suivant : « Deux personnes ont chacune un nombre d'écus. La somme de tous leurs écus estant retranchée de la somme des quarrez formez par chacun des deux nombres, laisse 78. Mais estant ajoutée au produit de ces mêmes nombres, elle

8 - Sur la biographie de Prestet, d'abord au service de Malebranche qui le forma aux mathématiques, puis prêtre oratorien et professeur de mathématiques, voir Robinet, *op. cit. in* n. 1 et Asselah (2005), *op. cit. in* n. 5.

9 - [Jean Prestet], *Élémens des mathématiques* (Paris : Pralard, 1675) et Prestet (1689), *op. cit. in* n. 6. Notons que la première édition des *Élémens* ne porte pas de nom d'auteur et a même été parfois attribuée à Malebranche lui-même, bien que Prestet soit bien identifié comme auteur dans les correspondances et par des ajouts manuscrits dans de nombreux exemplaires conservés. La préface est d'ailleurs signée J. P.

10 - Voir Evelyne Barbin, La démonstration mathématique : significations épistémologiques et questions didactiques, *Publications de l'Institut de recherche de mathématiques de Rennes*, année 1987, fasc. 5, Séminaires de didactique des mathématiques (1987-1988), article nº 5 (en ligne sur www.numdam.org) ; Paolo Mancosu, *Philosophy of mathematics and mathematical practice in the seventeenth century* (New York : Oxford University Press, 1996) ; Catherine Goldstein, L'arithmétique de Fermat dans le contexte de la correspondance de Mersenne : une approche micro-sociale, *Annales de la faculté des sciences de Toulouse*, 18 (2009), 25-57 ; Davide Crippa, « Impossibility results : from geometry to analysis », thèse (univ. Paris Diderot, 2014) ; Jesper Lützen, *A history of mathematical impossibility* (New York : Oxford University Press, 2023).

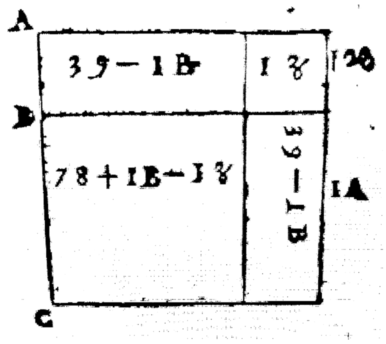


Figure 1
Traitement géométrique d'un problème : Clavius, op. cit. in *n. 11, 343*

donne 39. On demande combien chacun avait d'écus [11] ».

La base de la résolution de Clavius est une figure carrée composée de deux sous-carrés et de deux rectangles (fig. 1). Les deux sous-carrés ont pour côtés les nombres cherchés, donc la somme de leurs surfaces est la somme des carrés de ces nombres, et chacun des rectangles restants dans le grand carré (qui a donc pour côté la somme des nombres) a pour surface le produit des deux nombres. En utilisant un lemme tiré du livre X des *Éléments* d'Euclide et d'autres résultats précédents de son ouvrage, Clavius parvient à une équation du second degré en l'un des nombres inconnus, puis trouve la solution numérique au problème : les deux nombres cherchés sont 9 et 3. Dans une scholie, il commente :

> Cette énigme fait facilement voir que celui qui prétend resoudre les questions par Algebre, doit estre parfaitement versé dans la science de la Géométrie. [...] Car il est visible que la resolution de cette énigme est extrêmement difficile, ou tout à fait impossible

11 - Christoph Clavius, *Algebra* (Rome : Bartolomeo Zannetti, 1608), 343-344, problème 58 : *Duo socii habent duos numeros aureorum, quorum summa a summa quadratorum ex ipsis procreatorum subtracta, relinquit 78. Addita vero ad numerum ex eorum multiplicatione productum facit 39. Quaeritur, qui sint isti numeri.* L'énoncé français donné ici est celui de Prestet, *op. cit. in* n. 9, 307. Sur l'algèbre de Clavius, voir Sabine Rommevaux, Qu'est-ce que l'algèbre pour Clavius ? *in* Sabine Rommevaux, Maryvonne Spiesser, Maria Rosa Massa Estève (dir.), *Pluralité de l'algèbre à la Renaissance* (Paris : Honoré Champion, 2012), 293-310.

> à trouver à celui qui ne sçait point de Géométrie [12].

C'est cet appui sur la géométrie dans les preuves, mais surtout comme ici dans la résolution même, que Prestet cherche à contrer. Tout d'abord, il choisit comme inconnues principales deux grandeurs y et z, telles que le plus grand nombre d'écus soit $y + z$ et le plus petit $y - z$. Il s'agit de mettre en valeur l'utilité d'un principe énoncé par lui plus tôt : « Que la moitié de la somme de deux grandeurs, plus la moitié de leur différence, est égale à la plus grande, & moins cette même moitié, qu'elle est égale à la plus petite [13]. » En posant alors $2a = 78$ (le a laissant espérer une extension du problème à d'autres valeurs numériques), Prestet exprime alors les hypothèses du problème : $2yy + 2zz - 2y = 2a$ et $yy - zz + 2y = a$. Il en déduit alors facilement $zz = a - yy + y = yy + 2y - a$, d'où une équation du deuxième degré en y : $yy + \frac{1}{2}y = 39$, « une égalité plus simple et plus facile à resoudre que celle à laquelle le Père Clavius arrive en se servant de figure [14] ». Ce problème arrivant avant la section où Prestet explique de manière générale comment résoudre les équations de bas degré, il fait ici simplement remarquer comment le membre de gauche de l'équation peut être considéré comme le début du carré de $y + \frac{1}{4}$, ce qui suggère de rajouter des deux côtés de l'égalité le terme manquant $1/16$, d'où la solution $y + \frac{1}{4} = \sqrt{39 + \frac{1}{16}}$ (l'autre racine donnerait des nombres négatifs d'écus). Finalement, $y = 6$, et les nombres d'écus sont 9 et 3, ce qu'une rapide vérification numérique confirme comme solution.

Ce remplacement d'une heuristique argumentative fondée sur la géométrie par des choix de variable guidés par des relations algébriques est tout à fait cohérent avec les convictions constantes de Malebranche. Comme le souligne Claire Schwartz,

> En effet, c'est à la puissance d'invention que l'analyse développe en celui qui la pratique plutôt qu'à la capacité à contempler des objets déjà constitués que sont les figures que Malebranche

12 - Clavius, *op. cit. in* n. 11, 344 : *Ex hoc aenigmate facile intelligitur, eum, qui quæstiones per Algebram solvere vult, debere optime esse exercitatum in Geometria scientia [...] Hoc enim aenigma ab eo, qui Geometriam ignorat, vix, aut nullo modo solvetur.* La version française est celle donnée dans Prestet, *op. cit. in* n. 9, 306.

13 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 290.

14 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 307.

attribue notre capacité à accéder à des vérités dont la certitude est comparée à celle de l'arithmétique [15].

Or, plus surprenant peut-être, cette relecture par l'analyse algébrique concerne également des approches déjà largement algébriques, par exemple les traditions diophantiennes.

De l'analyse cartésienne dans les problèmes diophantiens

Au XVII^e^ siècle, Diophante est présenté presque unanimement comme le père de l'algèbre, mais des sources très différentes alimentent alors les recherches qui s'en revendiquent [16]. Rappelons par exemple, pour mentionner des auteurs explicitement utilisés dans le cercle de Malebranche, que les *Zetetica* de François Viète servent à leur auteur, dès 1591, de terrain d'exercice pour l'application de ses propres techniques algébriques aux problèmes diophantiens. Quant aux *Arithmetica* mêmes de Diophante, leur traduction latine, accompagnée des commentaires et des ajouts de facture euclidienne de Claude-Gaspard Bachet de Méziriac, publiée en 1621, et rééditée en 1670 par Samuel de Fermat, qui les augmente des notes de son père, Pierre Fermat, et d'autres textes liés, elles mettent aussi en avant un symbolisme et des techniques de transformations algébriques. Il s'agit toujours dans ces ouvrages de trouver une solution en nombres rationnels (ou parfois entiers) à une variété de problèmes reliant des nombres, leurs carrés et leurs cubes. Alors que Descartes s'est très peu intéressé à ce type de problèmes, jugeant que l'exigence de se restreindre à des solutions rationnelles leur ôtait utilité et universalité, plu-

15 - Claire Schwartz, « Appropriations et diffusion des nouveaux savoirs mathématiques, de l'âge classique aux Lumières », mémoire de synthèse présenté en vue de l'Habilitation à diriger des recherches (univ. Paris Cité, 2023), 22.

16 - JoAnn Morse, « The reception of Diophantus' Arithmetic in the Renaissance », thèse de doctorat (Princeton University, 1981) ; Karin Reich, Die Rezeption Diophants im 16. Jahrhundert, *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin*, 11 (2003), 80–89 ; Cassinet, *op. cit. in* n. 5 ; Odile Le Guillou-Kouteynikoff, La réception des Arithmétiques de Diophante par Guillaume Gosselin de Caen, algébriste de la Renaissance française, *Anabases : Traditions et réceptions de l'Antiquité*, 31 (2020), 131-156 ; Catherine Goldstein, Diophantus redivivus : is Diophantus an early-modern classic ?, *Oberwolfach reports*, 26 (2021), 38-40 ; Francisco Gómez-García, Pedro Jose Herrero-Piñeyro, Antonio Linero-Bas, Maria-Rosa Massa-Esteve, Antonio Mellado-Romero, The six books of Diophantus' Arithmetic increased and reduced to specious : the lost manuscript of Jacques Ozanam (1640-1718), *Archive for history of exact sciences*, 75 (2021), 557-611.

sieurs proches de Malebranche s'y consacrent, cherchant à y tester l'efficacité de leur analyse cartésienne. Jean Prestet, en particulier, aborde ces problèmes dans ses deux éditions des *Élémens des mathématiques*.

Considérons par exemple la question de déterminer deux grandeurs si leur produit et la différence de leurs carrés est donnée [17]. Il s'agit du Zététique IX du livre II de Viète : *Dato Rectangulo sub lateribus, & differentiâ quadratorum invenire latera* [18]. Viète note B (*planum*, pour indiquer sa « dimension ») le produit des deux grandeurs cherchées, D (*planum*) la différence de leurs carrés ; Prestet remplace ces notations par b et d respectivement, choisissant donc des lettres minuscules à la manière cartésienne, et installant le problème d'emblée dans un contexte arithmético-algébrique puisqu'il néglige la question de la dimension. Il appelle ensuite $2y$ et $2z$ la somme et la différence des grandeurs et déduit facilement que $yy - zz = b$ et $4yz = d$. En éliminant y entre les deux équations, Il obtient finalement une équation en z, $16bzz + 16z^4 = dd$ (qu'il enseigne à résoudre dans une autre section).

Ici, la nature des grandeurs solutions (rationnelles ou non) n'est pas discutée et aucune solution autre que celle de Viète (avec $b = 20$ et $d = 96$, et la solution entière (10, 2)) n'est donnée. L'objectif de Prestet est simplement de critiquer l'approche de Viète : celui-ci en effet s'appuie sur un théorème, d'ailleurs classique, selon lequel le carré d'une somme de carrés est égal au carré de la différence des carrés ajouté au carré de deux fois le produit des grandeurs, pour ramener sa résolution à un cas traité auparavant, celui où le produit et la somme des carrés sont donnés. Autrement dit, il utilise une démarche synthétique, dérivant de théorèmes perçus comme complexes les relations cherchées. « Je laisse à juger », commente Prestet, « si une personne qui entreprend une recherche est capable de raisonner ainsi, et s'il ne faut pas déjà connaître ce qu'on cherche, au moins en partie, pour

17 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 296.

18 - François Viète, *Zeteticorum libri quinque ex Opere restituae matematicae analysaeos, seu algebra nova* (Tours : Jamet Mettayer, 1591), 7, ou *Francisci Vietae Opera mathematica*, éd. Franz van Schooten (La Haye : Elzevier, 1646), 52. Ces *Zetetica* de Viète ont été plusieurs fois traduits et adaptés en français au cours du XVII[e] siècle, mais Jean Prestet semble utiliser l'édition de van Schooten.

suivre une pareille méthode[19]. » Il dira un peu plus loin : « Tous ces théorèmes supposés sont presque aussi difficiles à apercevoir que la resolution même que l'on cherche[20]. »

Garder trace de la rationalité : les aléas de la réécriture

Dans les problèmes précédents, Prestet ne discute pas de la nature des solutions selon les données, ses exemples reprenant simplement ceux des auteurs qu'il critique. La situation devient bien plus délicate quand entre en ligne de compte la question de la rationalité des solutions.

Un problème diophantien

Prenons à titre d'exemple le huitième problème du livre III des *Arithmetica*[21] : un nombre rationnel quelconque étant donné, il s'agit de trouver trois nombres [rationnels] tels que leur somme ajoutée à ce nombre soit un carré – d'un nombre rationnel – et que les sommes de deux quelconques d'entre eux ajoutées à ce même nombre soient aussi des carrés. Dans les *Arithmetica*, comme toujours, une valeur numérique particulière est attribuée d'emblée au nombre de départ, ici 3, et toutes les conditions du problème sont exprimées à partir d'une seule inconnue (que Bachet désigne par la lettre N). En l'occurrence, la somme des deux premiers nombres cherchés est posée égale au carré de N + 2 diminué de 3, la somme des deuxième et troisième au carré de N+3 diminué de 3, enfin la somme des trois nombres cherchés au

19 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 297. Remarquons avec quelque malice que le recours à la somme et à la différence des grandeurs cherchées comme inconnues principales, suivant un principe favori de Prestet déjà rencontré plus haut, est bien sûr inutile : en choisissant directement les grandeurs elles-mêmes comme inconnues principales, on obtiendrait naturellement une équation analogue à celle de Prestet, à l'échange près de *b* et *d*.

20 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 306.

21 - Selon la numérotation standard. C'est le dixième du livre III dans la numérotation adoptée dans la traduction commentée de Bachet, reprise dans *Diophanti Alexandrini Arithmeticorum libri sex, et de numeris multangulis liber unus. Cum commentariis C. G. Bacheti, ... & observationibus D. P. Fermat*, éd. Samuel de Fermat (Toulouse : Bernard Bosc, 1670), 106-107.

carré de $N+4$, diminué de 3. Ce choix permet de satisfaire d'emblée à trois des quatre conditions requises, et d'exprimer les trois nombres cherchés en fonction de N : le premier nombre s'obtient en soustrayant de la somme des trois nombres la somme des deuxième et troisième, donc du carré de $N+4$ celui de $N+3$, ce qui donne $2N + 7$ et, de la même façon, $Q + 2N - 6$ est le deuxième nombre cherché, et $4N + 12$ le troisième [22]. Reste à assurer la dernière condition, autrement dit le fait que la somme du premier et du troisième nombre, augmentée de 3, fasse un carré, c'est-à-dire, d'après ce qui précède, que $6N + 22$ soit un carré. Choisissant 10 comme racine de ce carré, Diophante (et Bachet) trouvent donc $N = 13$, et enfin la solution complète (ici en entiers) : 33, 189, 64.

Viète, quant à lui, traite le problème dans le cinquième livre de ses *Zetetica*, apparemment avec une plus grande généralité [23] : il ne se restreint pas à une valeur particulière pour la constante donnée, qu'il désigne simplement par Z et il pose les sommes des deux premiers nombres cherchés, puis du deuxième et du troisième, puis des trois, toutes augmentées de Z, comme étant égales respectivement aux carrés de $A + B$, $A + D$ et $A + G$ – A est ici l'inconnue principale et B, D, G remplacent les valeurs 2, 3, 4 de Diophante-Bachet. Les expressions des trois nombres cherchés s'en déduisent. Reste une dernière condition à vérifier : la somme des premier et troisième nombres augmentée de Z doit être un carré, dont Viète désigne la racine par la lettre F. Ceci donne A en fonction de F, D, B, G, Z :

$$A = \frac{F\,\text{quad} + D\,\text{quad} + B\,\text{quad} - G\,\text{quad} \cdot 2 - Z\,\text{plano}}{G4 - B2 - D2}$$

dans les notations de Viète [24]. A priori, cette solution, qui inclut davantage de quantités libres et ne fixe pas le nombre donné

22 - Dans les notations adoptées par Bachet, Q désigne le carré de la quantité inconnue N.

23 - Zététique ɪᴠ, Viète (1591), *op. cit. in* n. 18, 21, ou Viète (1646), *op. cit. in* n. 18, 77.

24 - Ici, « quad » indique que la quantité précédente est élevée au carré ; les coefficients numériques 2, 4, etc. sont placés après les lettres. Le terme « plano » (plan) est introduit comme précédemment pour indiquer que le nombre Z doit être considéré comme une quantité homogène aux carrés. La typographie adoptée ici est à peu près celle de l'édition de 1646, mais dans l'original de 1591, les termes sont placés les uns au-dessus des autres en une seule colonne, ceux du numérateur étant séparés de ceux du dénominateur par un trait horizontal.

au départ, peut donc donner de nouvelles solutions. Mais Viète ne propose que celle de Diophante, qui correspond ici aux valeurs $Z = 3, B = 1, D = 2, G = 3, F = 10$, d'où $A = 14$; les trois nombres cherchés sont encore 33, 189, 64. De fait, des contraintes sur les valeurs des quantités doivent être imposées pour obtenir des solutions positives, et d'autres pour garantir que les solutions soient entières : Bachet en fait d'ailleurs la remarque dans son commentaire à ce problème, en indiquant quelques contre-exemples [25].

Premières tentatives de Prestet

Dans la première édition de ses *Élémens*, Prestet utilise à nouveau des notations cartésiennes pour exprimer les grandeurs intervenant dans le problème [26] : le nombre donné au départ est désigné par une voyelle a et Prestet choisit d'abord comme inconnues principales les racines des carrés indiqués dans l'énoncé : zz est le carré formé par la somme des trois grandeurs cherchées augmentée de a, yy est la somme des deux premières grandeurs recherchées augmentée de a, xx est la somme de la première et de la troisième grandeur, augmentée de a. Comme auparavant, cela fixe des expressions des trois grandeurs recherchées. Il faut encore prendre en compte la dernière condition voulue, c'est-à-dire que la somme du deuxième et du troisième nombres cherchés, augmentée de a, soit un carré – autrement dit, que $2zz - xx - yy + a$ soit le carré d'un nombre rationnel.

La technique usuelle consisterait à choisir la racine de ce carré de manière à éliminer les termes carrés de $2zz-xx-yy+a$ (ou au moins certains d'entre eux), mais 2 n'étant pas un carré, le terme $2zz$ bloque cette astuce classique. Prestet essaie alors de s'appuyer sur le fait que 2 est somme des deux carrés 1 et 1 : il a en effet donné auparavant une formule pour exprimer une somme

25 - Remarquons toutefois qu'on trouverait pourtant assez facilement d'autres solutions, y compris entières, toujours avec le nombre donné 3 : par exemple, $N = 7$ (ou dans les notations de Viète, $Z = 3, A = 8, B = 1, D = 2, G = 3, F = 8$) fournit la solution 21, 57, 40.

26 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 329, livre I, 13e question : « Une grandeur estant donnée, en trouver trois autres, lesquelles estant jointes alternativement deux à deux, les trois sommes alternatives, comme aussi la somme des trois estant jointes chacune à la grandeur donnée, fassent autant de nombres quarrez. »

de deux carrés rationnels en une autre somme de deux carrés rationnels[27]. Décomposant, grâce à cette formule, la somme 2 des deux carrés 1 et 1 en 1/25 + 49/25, il pose $xx = \frac{1}{25}zz$ (soit $x = 1/5z$ par exemple). Cela lui permet à la fois de se débarrasser d'une des variables et de faire apparaître un carré comme coefficient de zz : il reste en effet $\frac{49}{25}zz - yy + a$, qu'il s'agit d'identifier à un carré.

Prestet en cherche la racine sous la forme $b - \frac{7}{5}z$; cela lui fournit finalement la grandeur z en fonction de a, b, et y. Ou plutôt, lui fournirait la grandeur z si cette formule, qui a en dénominateur $14b$, donnait facilement des grandeurs entières positives pour les solutions cherchées : or, ce n'est pas le cas[28]. Pour la neuvième question, Prestet, confronté à la même difficulté, avait conclu que ces formules aboutissent à des solutions trop grandes pour être utiles ; pour cette treizième question, il explique qu'il « faut éviter lorsqu'on le peut ces sortes de partages [celui de 2 en une somme de carrés], en formant ses quarrez de quelque autre manière, en sorte que l'on ne monte point à la seconde dimension des inconnuës si cela peut se faire[29] ».

Il propose alors de dénommer « plus commodement » les grandeurs cherchées, se rabattant en fait sur une construction directement inspirée de Viète : les racines des premiers carrés sont d'office posées comme $z + b$, $z + c$, $z + d$ respectivement, la quatrième condition s'écrivant alors $4bz + 2bb - 2cz - 2dz - cc - dd + a = ee$, ce qui donne z en fonction de 4 grandeurs, a priori arbitraires, b, c, d, e. Il n'y a aucun commentaire sur les contraintes qu'il est pourtant nécessaire d'imposer à ces grandeurs pour obtenir des solutions (entières) positives. Pour $a = 3$, les valeurs $b = 3$, $c = 2$, $d = 1$ et $e = 10$, donnant $z = 14$, conduisent à la solution déjà connue 189, 64, 33, et c'est la seule donnée par Prestet.

27 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 324, livre I, 9e question.

28 - De plus, ici comme dans la solution de la neuvième question, il y a une erreur (de calcul ou de typographie) dans le développement des carrés, aboutissant ici à l'oubli de la quantité b au dénominateur.

29 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 329.

Le traitement du problème dans la deuxième édition des *Élements*

La deuxième édition des *Élémens* marque sur ces questions un progrès notable. Prestet y annonce d'ailleurs :

> J'ai résolu toutes les questions de Diophante, à cause de l'estime qu'on en fait généralement, et du soin que des Auteurs illustres ont pris de les commenter. [...] J'ai ajouté partout les formules littérales des résolutions générales et des résolutions infinies, afin que l'on eüt dans ce volume comme une table déjà résolue des questions de Diophante [30].

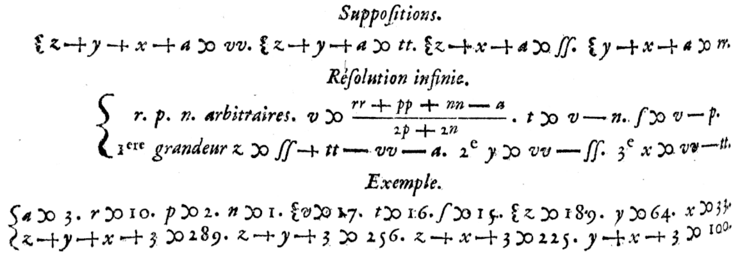
Il offre en fait des solutions à tous les problèmes de Diophante et de Viète, avec des tables de correspondance [31]. Le nôtre constitue le premier cas [32] de la question IX.

Cette fois, ce sont les grandeurs cherchées qui sont choisies directement comme inconnues principales, et notées z, y et x (la grandeur connue étant toujours désignée par a) ; Prestet note ensuite v, t, s, r les racines des carrés que doivent être, respectivement, $z+y+x+a, z+y+a, z+x+a, y+x+a$. Par compatibilité des valeurs, Prestet obtient la relation $rr = 2vv - tt - ss + a$ (on retrouve, à la dénomination des lettres près, l'équation obtenue dans la première édition, celle dont le coefficient 2 l'avait justement embarrassé). Mais Prestet semble maintenant comprendre pourquoi une généralisation de la démarche de Diophante ou de Viète – exprimer les racines des premiers carrés v, t, s à partir d'une seule grandeur, par exemple v, les autres en étant déduites par addition de paramètres – permet de réaliser son objectif : se débarrasser de $2vv$ dans le membre de droite. Il pose donc $s = v - p, t = v - n$ et en déduit $v = \frac{rr+pp+nn-a}{2p+2n}$, avec trois quantités arbitraires r, p, n. Autrement dit, il obtient des solutions exprimées par des formules rationnelles en trois paramètres, donc rationnelles si les paramètres le sont.

30 - Prestet, *op. cit. in* n. 6, t. 2, préface, s. p.

31 - Il existe des erreurs de concordance dans ces tables, en particulier pour le problème auquel nous nous intéressons ici. J'ignore si cela reflète les traces de l'édition intermédiaire, non publiée, à laquelle Prestet fait parfois allusion, ou à un changement d'organisation mal répercuté.

32 - Le deuxième cas est celui où la quantité donnée a est soustraite des différentes sommes, au lieu d'être ajoutée.



Suppositions.

{ z + y + x + a ꝏ vv. { z + y + a ꝏ tt. { z + x + a ꝏ ſſ. { y + x + a ꝏ rr.

Réſolution infinie.

{ r. p. n. arbitraires. v ꝏ (rr + pp + nn — a)/(2p + 2n). t ꝏ v — n. ſ ꝏ v — p.
{ 1ere grandeur z ꝏ ſſ + tt — vv — a. 2e y ꝏ vv — ſſ. 3e x ꝏ vv — tt.

Exemple.

{ a ꝏ 3. r ꝏ 10. p ꝏ 2. n ꝏ 1. { v ꝏ 17. t ꝏ 16. ſ ꝏ 15. { z ꝏ 189. y ꝏ 64. x ꝏ 33.
{ z + y + x + 3 ꝏ 289. z + y + 3 ꝏ 256. z + x + 3 ꝏ 225. y + x + 3 ꝏ 100.

Figure 2
Présentation de la solution d'un problème diophantien dans les Nouveaux élémens des mathématiques *de Prestet,* op. cit. in *n. 6, t. 2, 200*

De plus, Prestet consacre une longue discussion aux contraintes nécessaires sur ces paramètres r, p, n pour que toutes les quantités cherchées soient positives. Il aboutit à la condition que rr doit être plus grand que

$$pp+nn+4pn+a+\sqrt{16ppnn+8p^3n+8pn^2+8apn+4app+4ann}.$$

La solution est accompagnée d'un résumé, sous une forme canonique que Prestet a maintenant adoptée pour la résolution de ces problèmes dans tout son ouvrage : une « résolution infinie » est présentée sous forme de formules rationnelles en fonction de certaines grandeurs (fig. 2).

On remarquera toutefois que le seul exemple donné par Prestet est encore celui de Diophante. Cela étant, ces formules en fournissent facilement d'autres *rationnelles* positives, y compris pour $a = 3$. En prenant par exemple $n = 1$, $p = 3$, la condition de Prestet pour que les solutions soient positives impose que r soit supérieur à 49 et le choix de $r = 50$ donne directement

$$v = \frac{2507}{8}, \quad t = \frac{2499}{8}, \quad s = \frac{2483}{8}$$

et la solution

$$x = \frac{40048}{64}, \quad y = \frac{119760}{64}, \quad z = \frac{6125049}{64}.$$

Les enjeux des problèmes diophantiens

Si le résultat semble modeste, cet exemple met néanmoins bien en relief les difficultés rencontrées pour aborder ces problèmes et les transformations apportées, ici par Prestet, à la nature et à la présentation des solutions.

La première difficulté est le choix approprié des inconnues cherchées. Dans plusieurs cas, Prestet justifie son choix en remarquant que « les dénominations ordinaires donnent une égalité dont la résolution paraît trop composée [33] », changeant son premier choix, comme nous l'avons vu ici pour « avoir une résolution plus étenduë ou moins déterminée [34] », ou parce que « si on employe les dénominations ordinaires, la comparaison des égalitez portera les inconnuës à des degrés trop élevez [35] ». Identifier les inconnues principales et, éventuellement, des relations entre elles qui permettront une résolution plus directe est un leitmotiv dans ces *Élémens*. On remarque dans le problème traité plus haut comment un choix assez naturel au départ semble aboutir à une impasse, est abandonné pour ce qui est présenté comme une autre approche, pour être repris dans la deuxième édition de manière intégrée.

Dans la XVI^e^ question du livre V – « trouver trois grandeurs, telles que chacune étant ajoutée au plan des deux autres, les sommes soient des quarrez parfaits [36] » –, Prestet explique comment il cherche à abréger et à faciliter la résolution en nommant les grandeurs cherchées respectivement z, $z+2y$, yy, afin que la première condition (le produit des deux premières ajoutée à la troisième doit être un carré parfait) soit assurée d'emblée. Il réussit grâce à cela à exprimer des solutions à l'aide de deux grandeurs y et s arbitraires (soumises cependant à des inégalités qu'il décrit) et exhibe cette fois, outre une formule de « résolution infinie » pour z, et donc pour les trois grandeurs cherchées, plusieurs exemples numériques, comme 1, 7, 9 ou 23/2, 35/2, 9. Comme nous l'avons vu plus haut, aborder la preuve aussi naturellement que possible à partir de l'énoncé même est un enjeu, à la fois

33 - Prestet, *op. cit. in* n. 6, t. 2, 204.
34 - Prestet, *op. cit. in* n. 6, t. 2, 206.
35 - Prestet, *op. cit. in* n. 6, t. 2, 208.
36 - Prestet, *op. cit. in* n. 6, t. 2, 208-209.

pédagogique, notationnel, et par là-même épistémologique, de cette assimilation des problèmes diophantiens.

La deuxième difficulté vient d'ailleurs des rapports des problèmes entre eux et des efforts de Prestet pour recycler au fur et à mesure, tout en évitant de multiplier les prérequis, certaines techniques ou résolutions antérieures ; il peut s'agir de jeux sur les signes ou, comme dans notre cas, de décompositions de sommes de carrés, que Prestet utilise avec plus ou moins de succès dans plusieurs problèmes successifs. Par exemple, dans la quatrième question du livre V – « trouver trois grandeurs, telles que le quarré de chacune étant retranché de la somme des trois, les restes soient des quarrez parfaits[37] » –, Prestet, nommant zy, zx, zv respectivement les grandeurs cherchées et tz, sz, rz les côtés des carrés obtenus en retranchant à la somme chacun des carrés des grandeurs, aboutit aux relations $tt + yy = ss + xx = rr + vv$, « de sorte que la question se réduit à coupper deux quarrez tt et yy en deux autres ss et xx et de nouveau encore en deux rr et vv », dont il a, comme nous l'avons dit, expliqué la procédure auparavant. Cette fois, il donne plusieurs exemples de solutions rationnelles comme le triplet 68/65, 612/325, 204/325, ou encore 85/125, 170/125, 34/125.

Ces choix d'inconnues et l'assimilation et l'usage de plusieurs techniques standardisées fournissent pour ces problèmes diophantiens – dont certains ont été ou sont encore alors l'objet d'échanges collectifs, comme la résolution des doubles et triples égalités ou la décomposition de sommes ou différences de cubes en une autre somme ou différence de cubes –, des résolutions nouvelles, qui sont d'ailleurs ce que la postérité a retenu le plus facilement des recherches de Prestet, et parfois des résultats spectaculaires, avec des numérateurs et dénominateurs de plus de 30 chiffres[38].

Une troisième difficulté vient de la gestion des contraintes sur

37 - Prestet, *op. cit. in* n. 6, t. 2, 191. On notera une fois de plus le choix astucieux des dénominations des inconnues.

38 - Voir des exemples dans Cassinet, *op. cit. in* n. 5 et Goldstein, *op. cit. in* n. 7. Pour ce qui a été retenu des résultats de Prestet c. 1900, voir Leonard Dickson, *History of the theory of numbers* (Washington : Carnegie Institution for Science, 1919-1923), en particulier t. 2.

les grandeurs qui interviennent dans la résolution dite « infinie ». Si Diophante ne proposait qu'une solution, si donner un nombre fini de solutions numériques est encore la norme pour les auteurs diophantiens du début du XVIIe siècle, Fermat a promu ses propres méthodes en expliquant comment obtenir une nouvelle solution rationnelle à partir d'une solution déjà connue (ou une solution positive à partir d'une négative considérée comme fausse) par un changement de variables algébrique et donc obtenir par réitération des solutions « à l'infini ». Ces techniques ont été retranscrites, par Prestet et d'autres, en des formules. Leur objectif, comme nous l'avons vu, est en effet de trouver une *formule* dépendant de plusieurs quantités, qu'on espère pouvoir choisir arbitrairement pour obtenir de multiples solutions, voire une infinité. Comme nous le savons maintenant, la situation est plus compliquée, certains de ces problèmes n'ayant en fait qu'un nombre fini de solutions [39] (les procédures pouvant boucler) ; de fait, aucun auteur du XVIIe siècle (y compris Fermat) ne prouve qu'il y a vraiment une infinité de solutions *différentes*. Toutefois, comme nous l'avons vu, et comme l'ont fait occasionnellement Bachet, Fermat et leurs successeurs, Prestet énonce au moins des restrictions, exprimées elles-mêmes en termes algébriques, sur les grandeurs entrant dans ses formules, pour garantir l'existence de solutions rationnelles et positives [40].

Des nombres entiers

Mais la détermination de solutions *entières* est plus délicate : si certaines formules (par exemple celles sans dénominateur) permettent immédiatement d'en obtenir, comme Prestet l'indique alors, les identifier demande en général des arguments arithmétiques spécifiques, déterminant des conditions de divisibilité du

39 - Des exemples, basés sur l'interprétation des problèmes diophantiens en termes de courbes algébriques, dont les propriétés des points à coordonnées rationnelles sont maintenant bien mieux connues, peuvent être trouvés dans André Weil, *Number theory : An approach through history from Hammurapi to Legendre* (Basel : Birkhäuser, 1984), chap. II, ou dans *Œuvres de Pierre Fermat*, vol. 1, *La théorie des nombres*, trad. Paul Tannery, introd. et com. Roshdi Rashed, Christian Houzel et Gilles Christol (Malicorne-sur-Sarthe : Albert Blanchard, 1999).

40 - Prestet utilise par ailleurs les nombres négatifs et même imaginaires (racines carrées de nombres négatifs) dans d'autres contextes, voir Paul Schrecker, Arnauld, Malebranche, Prestet et la théorie des nombres négatifs (d'après une correspondance retrouvée), *Thalès*, 2 (1935), 82-90 et Asselah (2005), *op. cit. in* n. 5.

numérateur par le dénominateur par exemple ; cette question a d'ailleurs fait l'objet de débats entre Fermat (qui promeut la théorie des entiers comme spécifique et féconde en elle-même) et nombre de ses correspondants [41].

Des carrés entiers

Des questions portant spécifiquement sur les entiers ont retenu l'attention de Malebranche et de plusieurs de ses proches, en particulier les oratoriens Claude Jaquemet et Louis Byzance [42]. Leurs recherches n'ayant pas été publiées de leur vivant, c'est dans des manuscrits et des correspondances qu'il est possible de trouver les traces de cette activité collective [43]. Jaquemet écrit ainsi à Byzance le 26 janvier 1690 : « [...] tout nombre qui nest point composé de deux quarres en entiers ne lest point aussi en fraction. [C'est en vue] d'une autre proposition par laquelle je souhaittois determiner quels nombres sont ou ne sont point composez de deux quarrez en entiers [44]. »

Dans les manuscrits disponibles, Jaquemet commence par montrer que si un nombre premier divise un carré, il divise sa racine et intervient donc avec une puissance paire dans la décomposition du carré en facteurs premiers. Il rappelle ensuite que le produit de deux sommes de carrés est encore une somme de carrés et que le quotient de deux sommes de carrés est une somme

41 - Voir sur cette question Goldstein, *op. cit. in* n. 10. Par exemple, la démarche dans le huitième problème du livre III traité plus haut aboutit à la condition que $6N+22$ doit être un carré ; pour avoir une solution entière (positive), il faut que ce carré, disons ee, soit supérieur à 22, mais aussi qu'il soit congru modulo 6 à 22 (donc à 4), ce qui impose que e soit congru à ± 2 modulo 6. Le choix de Diophante et de ses successeurs ($e = 10$) est cohérent et aboutit bien à une solution entière, tout comme le choix $e = 8$, utilisé n. 25.

42 - Sur ces deux hommes, voir Aristide Marre, Deux mathématiciens de l'Oratoire, *Bullettino di bibliografia e di storia delle scienze matematiche e fisiche*, 12 (1879), 886-894, ainsi que Charles Henry, Recherches sur les manuscrits de Pierre de Fermat suivies de fragments inédits de Bachet et de Malebranche, *Bullettino di bibliografia e di storia delle scienze matematiche e fisiche*, 12 (1879), 477-532, 533-568, 619-740, et supplément 13 (1880), 437-470, ou *Recherches sur les manuscrits de Pierre de Fermat suivies de fragments inédits de Bachet et de Malebranche* (Rome : Imprimerie des sciences mathématiques et physiques, 1880).

43 - Des extraits en ont été édités par Marre et par Henry, *op. cit. in* n. 42. Voir aussi Nicolas Malebranche, *Mathematica*, *Œuvres complètes*, t. XVII-2, éd. Pierre Costabel (Paris : Vrin, 1979).

44 - Marre, *op. cit. in* n. 42, 890.

de carrés, au moins en fractions, grâce à la relation

$$\frac{aa+bb}{cc+dd} = \frac{aacc+bbdd+2abcd}{c^4+2ccdd+d^4} + \frac{aadd+bbcc-2abcd}{c^4+2ccdd+d^4},$$

ainsi que quelques autres propriétés des sommes de carrés. Sa proposition clé est qu'un nombre non carré qui ne mesure (c'est-à-dire ne divise) aucune somme de deux carrés s'il ne divise chacun des carrés ne peut être égal à une somme de deux carrés, même en fractions. Considérant d'abord le cas où le nombre n'a pas de diviseurs carrés, par exemple est un nombre premier h, Jaquemet utilise ici un argument par l'absurde : si h était une somme de deux carrés fractionnaires, il pourrait s'écrire $\frac{aa+bb}{nn}$ par réduction à un même dénominateur, donc h diviserait $aa+bb$, donc par hypothèse les deux carrés aa et bb, c'est-à-dire, par ce qui précède puisque h est premier, les deux nombres a et b. On aurait donc deux autres nombres c et d tels que $nn = \frac{aa+bb}{h} = cch + ddh$, et h devrait diviser n. Et ainsi de suite : on aurait donc une suite infinie de sommes de carrés entiers décroissantes, ce qui est impossible en nombres entiers (c'est un argument par « descente infinie », dont Fermat avait promu l'importance pour la théorie des nombres entiers). Les cas où le nombre de départ a plusieurs facteurs premiers, ou a un facteur carré, se traitent aussi aisément. Jaquemet montre ensuite qu'un nombre premier divisant une somme de deux carrés sans mesurer chacun d'eux est une somme de deux carrés entiers, qu'un nombre qui n'est ni carré, ni somme de deux carrés entiers, ne l'est pas non plus en fractions, et finalement qu'un nombre dont tous les diviseurs premiers sont de la forme $4n-1$ n'est pas composé de deux carrés [45]. Comme le disent les auteurs de ces textes, où les écritures s'entremêlent parfois, c'est la correspondance de Fermat qui en constitue une inspiration décisive, avec la parution de ses *Varia opera* [46]. Ils y trouvent, sans démonstration, des problèmes sur

45 - Henry, *op. cit. in* n. 42, 641-650. Pour l'attribution à Jaquemet, voir Marre, *op. cit. in* n. 42. Ce qui resterait à faire pour répondre au projet de Jaquemet mentionné à Byzance, c'est-à-dire montrer que tout premier de la forme $4n+1$ divise, donc est, une somme de deux carrés entiers, est explicité, mais non prouvé et vérifié seulement sur des exemples, au moins dans les manuscrits connus.

46 - Pierre de Fermat, *Varia opera mathematica*, éd. Samuel de Fermat (Toulouse : Jean Pech, 1679).

les sommes de carrés ou le fait de passer des sommes de carrés en fractions à des sommes en entiers.

D'autres problèmes de Fermat sur les entiers sont abordés par des membres du groupe, en particulier un de ceux lancés en défi à l'Europe mathématique en 1657 : selon la version de l'énoncé donné par les malebranchistes, il s'agit de trouver les solutions entières de $\mathrm{A}xx + 1 = yy$, pour un entier A donné qui ne soit pas un carré. Ils montrent en particulier que « si l'on a une première solution $x = \alpha, y = \beta$, on en aura une seconde en prenant $x = 2\alpha\beta, y = 2\mathrm{A}\alpha^2 + 1$; de cette seconde on en déduira une troisième, et ainsi de suite indéfiniment [47]. » Un membre du groupe commente :

> Cette regle que l'analyse découvre donne ... une infinité de solutions, cependant elle ne les donne point toutes comme je pourrois vous faire voir, d'ailleurs elle suppose une solution donnée, or c'est bien souvent la difficulté de trouver cette 1re solution [48].

On reconnaît effectivement ici que la formule de transformation d'une solution à une autre garantit que les nombres ainsi obtenus successivement seront tous entiers. Mais l'auteur ne donne pas de formule globale des solutions entières et surtout, comme dit plus haut, une importante difficulté consiste à obtenir une première solution ; le manuscrit ne présente que quelques cas simples, comme $\mathrm{A} = 3$ (dans ce cas, $3.1 + 1 = 4$ qui est carré, ou $3.16 + 1 = 49$ qui est carré, donnent facilement des solutions particulières pour amorcer le processus). Il s'agit donc ici surtout de faire fonctionner dans un cadre symbolique nouveau des outils connus de l'arithmétique des entiers, comme la divisibilité par des nombres premiers, ou la descente infinie.

Progressions, nombres figurés et l'héritage pascalien

Mais une autre gamme de questions sur les nombres entiers est aussi abordée dans le groupe, en lien cette fois avec les progressions arithmétiques et géométriques. Par exemple, Jaquemet adresse à Byzance une proposition de Fermat, que celui-ci

47 - Marre, *op. cit. in* n. 42, 893.
48 - Henry, *op. cit. in* n. 42, 696-698. Henry attribue ce texte, appartenant au fonds oratorien, à Malebranche, Marre suggère Jaquemet.

exprime ainsi dans une lettre à Gilles Personne de Roberval en 1636 :

> Le dernier côté multiplié par le côté plus grand le plus proche fait le double du triangle. Le dernier côté multiplié par le triangle de côté plus grand le plus proche fait le triple de la pyramide. Le dernier côté multiplié par la pyramide de côté plus grand le plus proche fait le quadruple du triangulo-triangulaire. Et par cette progression à l'infini [49].

Les triangles, pyramides, triangulo-triangulaires, font ici référence aux nombres figurés, dont il est bien connu au XVII^e^ siècle qu'ils s'obtiennent comme sommes de progressions arithmétiques ou de sommations récurrentes de nombres figurés construits auparavant. Les nombres triangulaires sont sommes d'entiers successifs, autrement dit de nombres d'une progression arithmétique de raison 1 : 6 est 1 + 2 + 3, le triangulaire suivant, 10 est la somme des entiers de 1 à 4; les nombres pentagonaux comme 5 ou 12 sont des sommes de nombres d'une progression arithmétique de raison 3; les pyramides, ou nombres pyramidaux, s'obtiennent ensuite comme sommes de triangulaires, les triangulo-triangulaires comme sommes de pyramides, etc. S'ils ont une longue histoire depuis l'Antiquité, une importante référence à la fin du XVII^e^ siècle est le *Traité du triangle arithmétique* de Blaise Pascal, que les oratoriens que nous avons rencontrés citent à plusieurs reprises [50].

Construit de manière récurrente [51], le triangle arithmétique peut être lu et interprété de plusieurs manières : si ses lignes et co-

49 - Fermat, *op. cit. in* n. 46, 146 : *Ultimum latus in latus proxime majus facit duplum trianguli. Ultimum latus in triangulum lateris proxime majoris facit triplum pyramidis. Ultimum latus in pyramidem lateris proxime majoris facit quadruplum triangulotrianguli. Et eo in infinitum progressu.* Ma traduction.

50 - Blaise Pascal, *Traité du triangle arithmétique avec quelques autres petits traités sur la mesme matière* (Paris : Guillaume Desprez, 1665). Voir aussi Blaise Pascal, *Œuvres complètes*, t. 2, éd. Jean Mesnard (Paris : Desclée de Brouwer, 1970); Dominique Descotes, Sur la genèse du Traité du Triangle arithmétique, *Courrier Blaise Pascal*, 41-42 (2020), 155-180.

51 - Pascal place des 1 dans la première ligne (le nombre 1 pouvant être remplacé si nécessaire par un autre nombre générateur), puis chaque cellule des lignes suivantes s'obtient progressivement en ajoutant le nombre de la cellule au-dessus d'elle et celui de la cellule à sa gauche. La deuxième ligne contient alors tous les entiers, la troisième les nombres triangulaires, la quatrième les pyramides, etc. Pascal montre aussi que chaque cellule contient la somme de toutes les cellules de la ligne précédente jusqu'à sa colonne inclusivement.

lonnes (dans la disposition de Pascal) contiennent des nombres figurés, ses diagonales donnent les coefficients binomiaux (autrement dit aussi, les nombres de combinaisons possibles de différents objets).

Prestet, comme d'autres auteurs, le reproduit d'ailleurs avec une rotation qui met en valeur sur les lignes horizontales les coefficients binomiaux, en harmonie avec leur utilisation dans les développements des puissances algébriques. Il utilise également une autre normalisation des suites de nombres dans les cellules : pour Pascal, les nombres entiers sont dits du second ordre, les triangulaires du troisième ordre, etc. ; pour Prestet, les nombres du second ordre sont les nombres de combinaisons deux à deux de deux grandeurs, de trois grandeurs, de quatre grandeurs, etc. soit les nombres 1, 3, 6, ..., c'est-à-dire les triangulaires ; les nombres du troisième ordre sont les nombres de combinaisons trois à trois de trois grandeurs, de quatre grandeurs, etc., soit les nombres 1, 4, 10, 20, ..., donc les nombres pyramidaux [52]. C'est cette normalisation qu'utilise Jaquemet qui reformule l'énoncé de Fermat en éliminant la référence aux nombres figurés [53] :

> Dans les nombres de quel ordre lon voudra [...] appelant l'exposant de l'ordre e, le nombre de termes n, le terme qui suit le dernier de plus pres f, la somme de tous ces termes depuis lunité, S, lon aura tousjours $S = \frac{nf}{e+1}$.

Par exemple, pour l'ordre des nombres triangulaires, $e = 2$, la somme des nombres triangulaires jusqu'au n-ième est la pyramide de côté – ou de rang – n, et f est le nombre triangulaire de rang $n + 1$, « qui suit le dernier de plus près ». On retrouve bien l'énoncé de Fermat.

Ce problème est plus intéressant qu'il n'y paraît pour la question de la discontinuité entre les phases du groupe malebranchiste. En effet, Fermat continue dans sa lettre : « Toutes ces propositions, quoi que belles de soy, m'ont servi à trouver les quadratures [54]. » Les relations entre nombres figurés servent à exprimer des sommes de puissances et Pascal s'est aussi servi à cet effet de

52 - Pascal (1665), *op. cit. in* n. 50, « Usage du triangle arithmétique pour les ordres numériques », 2. Prestet, *op. cit. in* n. 6, t. 1, 80 (table 3) et 114-115.
53 - Marre, *op. cit. in* n. 42, 891.
54 - Fermat, *op. cit. in* n. 46, 146.

son triangle arithmétique, afin de calculer des sommes de puissances de nombres en progression arithmétique (par exemple la somme des puissances quatrièmes de 5, 8, 11, 14, 17). Et il ajoutait à propos de cette « méthode unique et générale pour trouver la somme des puissances d'une progression quelconque » :

> À quel point cette connaissance concerne les dimensions des espaces curvilignes, le savent assez ceux qui sont tant soit peu versés dans la théorie des indivisibles. En effet, toutes les paraboles de tous les genres sont carrées sur le champ et d'innombrables autres sont mesurées très facilement [55].

C'est d'ailleurs juste avant celle sur l'arithmétique des infinis que Prestet insère une section sur les nombres polygones, incluant une formule algébrique de la somme des puissances des termes d'une progression arithmétique. Par exemple, la somme des quatrièmes puissances de y termes d'une progression de premier terme a et de raison d est donnée par

$$\frac{t^5 - a^5 - yd^5 - 5d^4 - 10rd^3 - 10qdd}{5d},$$

où t est le terme de la progression après le dernier terme de la somme cherchée, q la somme des cubes de cette progression, r la somme des carrés [56].

Il commente alors : « Messieurs Wallis et Bouillaud ont traité fort soigneusement l'arithmétique des infinis ; mais avec cette difference que M. Wallis ne prouve ses propositions principales que par induction, quoi qu'il soit aisé de les tirer avec Monsieur Paschal de la proposition précédente, dont elles sont une suitte naturelle [57]. » Comme Fermat et Pascal le suggéraient, il déduit de ces sommes finies établies par voie arithmético-algébrique des équivalents qui seront ensuite transmis aux sommes infinies de puissances : par exemple, explique-t-il, la somme des quatrièmes puissances « est à autant de fois la plus grande qu'il y a

55 - Pascal (1665), *op. cit. in* n. 50, *Potestatum numericarum summa*, 40 : *Quantum haec notitia ad spatiorum curvilineorum dimensiones conferat, satis norunt qui in indivisibilium doctrina tantisper versati sunt. Omnes enim omnium generum Parabolae illico quadrantur & alia innumera facillime mensurantur.* Ma traduction.

56 - Prestet, *op. cit. in* n. 6, t. 1, 405.

57 - Prestet, *op. cit. in* n. 6, t. 1, 406.

de termes, comme 1 à 5 » : le rapport est $\frac{1}{5} + \frac{9zzdd+1zd-1}{30z^3d^3}$ (z étant ici le dernier terme retenu) et la deuxième fraction peut « être négligée comme étant infiniment petite ou de nulle valeur [58] ».

Témoignant encore de la continuité des activités malebranchistes et de la persistance d'un intérêt pour les nombres figurés dans une perspective algébrique, Guillaume de l'Hôpital, un des proches de Malebranche qui joue un rôle décisif dans l'intérêt de ce dernier pour le calcul infinitésimal, inclut dans le dixième livre de son *Traité analytique des sections coniques* une discussion des nombres figurés afin de les utiliser pour la division des arcs de cercles, autrement dit l'inscription de polygones réguliers dans un cercle [59]. L'Hôpital construit des tables, sur le modèle du triangle arithmétique, mais aussi des tables de puissances de Prestet. La première d'entre elles, par exemple, commence en posant 2 (pour un cercle de rayon 1) et $1.x$ respectivement sur les première et deuxième rangées, puis en fabriquant chaque rangée par multiplication de la précédente par x et soustraction de celle d'avant (fig. 3).

Si un arc de cercle AR est divisé en parties égales, aux points D, E, F, G, et x est la première corde BD, les autres rangées exprimeront les cordes successives BE, BF, etc. (avec des conventions de signe pour rendre compte des situations où BR est plus grand que le demi-cercle). En égalant à la longueur de la corde donnée le polynôme du rang adéquat, l'une des racines fournira la corde de la division cherchée. L'Hôpital fait aussi observer comment chaque coefficient s'obtient à partir des précédents, de manière récurrente.

Une autre table, obtenue par le même procédé, à partir des deux premiers rangs 1 et z cette fois, sert à la construction de polygones réguliers inscrits dans un cercle [60]. Pour un heptagone, par exemple, L'Hôpital se sert du polynôme du quatrième rang (4 étant la moitié du nombre de côtés voulus, 7, auquel est

58 - Prestet, *op. cit. in* n. 6, t. 1, 408. Voir aussi Bella, *op. cit. in* n. 4.

59 - Guillaume de L'Hôpital, *Traité analytique des sections coniques et de leur usage pour la résolution des équations dans les problèmes tant déterminés qu'indéterminés* (Paris : Vve Bounot et fils, 1707), posthume, cité ici d'après la réédition de 1776 (Paris : Moutard). Bella, *op. cit. in* n. 4, rapproche aussi ces résultats de Prestet d'un tout autre texte de L'Hôpital, d'inspiration plus géométrique.

60 - L'Hôpital, *op. cit. in* n. 59, 431.

Table pour la division des arcs de cercle en parties égales.

1ᵉ	2
2ᵉ	$1x$
3ᵉ	$1xx - 2$
4ᵉ	$1x^3 - 3x$
5ᵉ	$1x^4 - 4xx + 2$
6ᵉ	$1x^5 - 5x^3 + 5x$
7ᵉ	$1x^6 - 6x^4 + 9xx - 2$
8ᵉ	$1x^7 - 7x^5 + 14x^3 - 7x$
9ᵉ	$1x^8 - 8x^6 + 20x^4 - 16xx + 2$
10ᵉ	$1x^9 - 9x^7 + 27x^5 - 30x^3 + 9x$
11ᵉ	$1x^{10} - 10x^8 + 35x^6 - 50x^4 + 25xx - 2$
12ᵉ	$1x^{11} - 11x^9 + 44x^7 - 77x^5 + 55x^3 - 11x$
13ᵉ	$1x^{12} - 12x^{10} + 54x^8 - 112x^6 + 105x^4 - 36xx + 2$
14ᵉ	$1x^{13} - 13x^{11} + 65x^9 - 156x^7 + 182x^5 - 91x^3 + 13x$

Figure 3
Table pour la division des arcs de cercle, L'Hôpital (réédition de 1776), op. cit. in n. 59, 415

ajouté 1), $z^3 - zz - 2z + 1$, dont la plus grande racine exprime la corde cherchée. D'autres variantes sur le même principe sont proposées pour d'autres problèmes, comme la construction de moyennes proportionnelles. L'Hôpital explore les propriétés numériques des coefficients intervenant dans ses tables, commentant pour l'une d'elles :

> je dis que les rangs perpendiculaires contiennent par ordre les nombres qu'on appelle Figurés [...]. M. Paschal a fait un Traité qui a pour titre Triangle arithmétique, dans lequel il considere les propriétés de ces nombres, & fait voir qu'ils sont d'un très grand usage dans plusieurs questions d'arithmétique [61].

Symbolisme cartésien et argumentation sur les entiers

Nous avons vu plus haut, dans l'échange de Jaquemet avec d'autres membres du cercle malebranchiste, que des types d'arguments proprement arithmétiques, comme la descente infinie (il n'existe pas de suite de nombres entiers positifs décroissante

61 - L'Hôpital, *op. cit. in* n. 59, 445-446.

à l'infini), leur étaient familiers. Mais elle est surtout utilisée dans des démonstrations par l'absurde ou pour limiter le nombre de solutions [62]. Les manuscrits disponibles mettent d'ailleurs en lumière la difficulté à argumenter avec des propriétés arithmétiques, comme la décomposition en nombres premiers ou la divisibilité, tout en exprimant les nombres par des symboles algébriques.

Il est donc intéressant de trouver dans le texte sur les sommes de carrés une preuve du théorème maintenant dit de Bachet-Bézout, dans la formulation de Jaquemet : « Deux nombres étant premiers entr'eux, on pourra toujours trouver un multiple de l'un dont la différence à un multiple de l'autre sera un nombre donné [63]. » Une variante est apparue à l'origine dans la deuxième édition d'un volume de récréations mathématiques de Bachet, où elle est prouvée sur 14 pages, en s'appuyant sur une démarche et des propositions inspirées d'Euclide, en particulier l'anthyphérèse [64].

Pour p et q deux nombres entre eux, Jaquemet écrit directement la division euclidienne du plus grand par le plus petit, $p = qx + r$, r et x étant entiers (et r strictement plus petit que q) ; il remarque que si r n'est pas 1, q et r sont encore premiers entre eux et qu'on peut réitérer, avec des nombres de plus en plus petits, $q = ry + s, r = sz + t$ jusqu'à ce qu'on arrive à 1, « nécessairement puisque cela ne peut pas se continuer à l'infini » (on retrouve l'argument de descente). Il est alors facile de voir que

$$py = qxy + q - s, \quad pyz = qxyz + qz - r + t = qxyz + qz + qx - p + t,$$

et ainsi de suite ; chaque reste r, s, t, etc., peut donc être exprimé comme une combinaison linéaire à coefficients entiers de p et de

62 - Fermat qui décrit une utilisation plus large et lui donne son nom n'a d'ailleurs laissé de détails que dans ces cas.

63 - Henry, *op. cit. in* n. 42, 645

64 - Claude Gaspar Bachet de Méziriac, *Problemes plaisans et delectables, qui se font par les nombres* (Lyon : Pierre Rigaud, 1624), 2de éd., 18-33. C'est la proposition XVIII de Bachet qui demande de trouver, deux nombres premiers entre eux étant donnés, les plus petits multiples de chacun d'eux surpassant de 1 un multiple de l'autre. Une fois 1 obtenu comme différence de deux multiples des nombres donnés, tout nombre s'obtient bien sûr ainsi par simple multiplication (c'est d'ailleurs ce que fait Jaquemet). Par ailleurs, Bachet prouve que sa construction donne les plus petits multiples, ce qui ne retient pas l'attention de Jaquemet, au moins dans le manuscrit cité.

q. C'est donc encore vrai pour le reste final, 1. « Si l'on multiplie cette [dernière] égalité par le nombre donné, l'on aura ce qu'on cherche [65] », c'est-à-dire un moyen d'exprimer tout entier comme combinaison linéaire à coefficients entiers de p et q. On constate ici que l'écriture symbolique permet à la fois de représenter par une relation et de *visualiser* directement les multiples de p et de q : autrement dit, elle offre une intuition visuelle alternative à la géométrie [66].

Plus original, peut-être, est qu'elle suggère comment des arguments combinatoires permettent d'obtenir de nouvelles preuves. L'exemple le plus frappant pour nous est probablement la preuve, dans les *Nouveaux élémens* de Prestet, que si l'on connait une décomposition en facteurs premiers d'un entier, tout diviseur de cet entier s'obtient nécessairement à partir de cette décomposition – celle-ci est donc unique à l'ordre près [67].

Le livre (VI) qui traite de la division des grandeurs est significativement placé après celui (V) qui traite de leur composition, des combinaisons et des permutations. Cet ordre prend sens parce que Prestet étudie en parallèle nombres et grandeurs littérales : composer des grandeurs littérales veut donc dire ici les juxtaposer en produits dits « alternatifs », c'est-à-dire par deux, trois, quatre, etc. et examiner combien d'entre eux peuvent être formés à partir d'un nombre donné de grandeurs. Le livre suivant, sur la division, s'intéresse donc inversement à la décomposition d'une grandeur en ses composantes simples : pour les nombres, ces composantes sont les nombres premiers. Prestet y établit alors une suite de théorèmes sur la divisibilité, principalement celles des nombres, dont certains coïncident avec ceux des livres arithmétiques euclidiens, mais dans un ordonnancement tout à fait différent. Le théorème principal énonce que le plus petit nombre divisible exactement par deux nombres premiers entre eux est leur produit. Prestet en déduit que si un nombre d divise un produit de deux nombres b et c, tels que c et d sont premiers entre eux, alors d divise b – un énoncé plus général que celui d'Euclide (ne traitant que le cas où d lui-même est premier), et qui

65 - Henry, *op. cit. in* n. 42, 645.

66 - Sur l'intuition visuelle en algèbre, voir un exemple du XIXe siècle dans Jemma Lorenat, Synthetic and analytic geometries in the publications of Jakob Steiner and Julius Plücker (1827-1829), *Archive for history of exact sciences*, 70 (2016), 413-462.

67 - Sur cette preuve et son usage des combinaisons, voir Goldstein, *op. cit. in* n. 5.

donne une clé pour déterminer tous les diviseurs d'un nombre à partir de sa composition comme produit de nombres premiers, diviseurs que Prestet dénombre au passage à partir des résultats sur les combinaisons donnés dans le livre précédent. Autrement dit, l'intervention des combinaisons est l'occasion d'une preuve, dans une version *effective*, d'une assertion jusque là laissée implicite.

Prestet inclut aussi des résultats similaires sur les grandeurs littérales. Par exemple « pour trouver le plus grand diviseur commun des grandeurs a^5bbcd et a^3b^3dde [il prend] le produit a^3bbd des six simples a, a, a, b, b, d qui se trouvent également de part et d'autre. Et ce produit résout la question [68]. » Cette intégration de l'algèbre symbolique et d'une approche combinatoire est une caractéristique remarquable des travaux de Prestet, sur laquelle nous voudrions maintenant revenir [69].

Vers une nouvelle harmonie des combinaisons et de l'algèbre

Comme nous l'avons vu, les problèmes diophantiens constituent dans une certaine mesure un point d'achoppement pour un programme d'universalisation par le symbolisme. Descartes lui-même ou Wallis ensuite, dans leurs polémiques avec Fermat ou Frenicle sur les questions de nombres, avaient souvent choisi en dernière instance de laisser de côté ces questions, comme des particularismes sans beaucoup d'intérêt [70].

Infini, général et universel

Les malebranchistes se sont eux aussi heurtés, explicitement, au fait qu'une formule exprimant les solutions n'est pas nécessairement générale, que ce soit dans le sens où elle les exprimerait

68 - Prestet, *op. cit. in* n. 6, t. 1, 158.
69 - Elle intervient aussi dans le traitement par Prestet des équations algébriques, en particulier sur les relations entre coefficients et racines d'une équation, voir sur ce point Asselah (2011), *op. cit. in* n. 5.
70 - Catherine Goldstein, *Un théorème de Fermat et ses lecteurs* (Saint-Denis : Presses universitaires de Vincennes, 1995) ; Catherine Goldstein, L'expérience des nombres de Bernard Frenicle de Bessy, *Revue de synthèse*, 122 (2001), 425-454.

toutes, ou dans le sens où elle préserverait les contraintes voulues de rationalité ou d'intégralité [71]. Prestet, quand il choisit de traiter ces questions diophantiennes, distingue autant que possible entre ses formules de résolution infinie, dont nous avons vu des exemples plus haut – le nombre infini de solutions n'étant qu'espéré, parce que les formules font intervenir des grandeurs arbitraires, remplaçables par une infinité de valeurs numériques, mais jamais confirmé – et ce qu'il décrit par ailleurs comme une résolution générale ou universelle.

Quand il parle de généralité, celle-ci vise l'approche de Descartes, globalement, ou parfois la notation symbolique en tant que telle : « Pour rendre la question plus générale », écrit par exemple Prestet à propos d'une question standard de détermination d'écus répartis entre trois personnes, sachant combien deux des personnes ensemble ont en plus par rapport à la troisième [72], « et faire en sorte que sa résolution serve d'un modèle général pour toute autre semblable, je rends mes grandeurs connues $82 = a$, $400 = b$ et $566 = c$, et j'appelle le premier nombre inconnu des écus x, le second y, et le troisième z ».

Prestet se vante aussi que « personne ait encore donné [des règles d'alliage] qui fussent tout ensemble si courtes et si generales [73] ». Mais ces règles dites générales, souvent dérivées sous forme algébrique des théorèmes classiques sur les carrés d'une somme ou d'une différence, s'appliquent à toutes les grandeurs, il n'y a donc pas ici d'originalité proprement arithmétique par rapport à leur usage dans d'autres traditions algébriques [74]. Avec un succès mitigé, l'abbé de Catelan s'essaiera quant à lui à étendre la symbolique aux exposants même dans sa *Logistique pour la science générale des lignes courbes* [75].

71 - Un autre cas où généralité arithmétique et généralité algébrique sont distinctes est présenté dans Frédéric Brechenmacher, Algebraic generality vs arithmetic generality in the controversy between C. Jordan and L. Kronecker (1874), *in* Karine Chemla, Renaud Chorlay, David Rabouin (dir.), *The Oxford handbook of generality in mathematics and the sciences* (Oxford : Oxford University Press, 2016), 433-467.

72 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 163.

73 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 219.

74 - Par exemple Prestet, *op. cit. in* n. 9, 279, 290 ou 316.

75 - Abbé François de Catelan, *Logistique pour la science générale des lignes courbes ou manière universelle et infinie d'exprimer et de comparer les puissances des grandeurs* (Paris : Roulland, 1691), dont une présentation paraît dans *Journal des scavans*, 5 (4 février 1692), 53-55. Sur Catelan, voir André Robinet, L'abbé de Catelan, ou l'erreur au service de la vérité, *Revue d'histoire des sciences*, 11 (1958), 289-301.

Arithmétique des expressions algébriques

Une systématisation plus nouvelle se trouve ailleurs. Les auteurs malebranchistes ne se contentent pas de transcrire des questions (et leurs solutions) avec une écriture symbolique. Ils essaient dès le début de développer une approche en concordance avec le point de vue de Malebranche selon lequel l'arithmétique est le fondement des mathématiques, voire de la vérité. L'analyse ou l'algèbre spécieuse « la plus féconde et la plus certaine de toutes les sciences » constitue « une science universelle et comme la clé pour toutes les autres sciences », dit Malebranche [76]. Cette arithmétique étendue joue le rôle d'une nouvelle logique, basée sur les idées et non sur les sens ou l'imagination, comme le serait pour eux la géométrie.

Les *Élémens des mathématiques* de Prestet suivent ce point de vue en ce qu'ils développent non seulement un traitement unifié des nombres et des grandeurs, mais, et c'est un « mais » essentiel, un traitement unifié fondé sur l'arithmétique. Les opérations de base, comme l'addition, la division ou même l'extraction des racines sont expliquées et illustrées à la fois sur des exemples numériques et sur des expressions polynomiales, avec des procédures qui sont aussi similaires, y compris sur le plan de leur disposition. Par exemple, Prestet entame sa recherche de la racine carrée de $aa - 6ab + 9bb + 2ac - 6bc + cc$ de la même façon que s'il s'agissait de la racine carrée d'un nombre [77] :

> Je dis la racine du quarré aa est a, j'écris a au demi cercle, et j'efface la quarré aa, écrivant 0 sous lui. J'écris $2a$ double de a sous $-6ab$ et je dis, l'exposant de $-6ab$ à $2a$ est $-3b$, et j'écris $-3b$ au demi cercle et sous $+bb$

et ainsi jusqu'au résultat $a - 3b + c$. Les tables (comme nous l'avons aussi remarqué) font la part belle aux polynômes. Mais le parallèle s'étend aussi à l'arithmétique *théorique* sur les entiers : nombres premiers et expressions linéaires sont tous deux étiquetés comme « éléments simples » et la factorisation en éléments simples est présentée autant sur les nombres que

76 - Nicolas Malebranche, *De la recherche de la vérité*, cité d'après *Œuvres*, éd. Jules Simon (Paris : Charpentier, 1842), livre IV, 3, 346.

77 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 90-91.

sur les expressions algébriques; cela sera repris par un autre oratorien, Charles-René Reyneau, pour définir des diviseurs communs entre équations [78].

Dans ce contexte, le changement assez radical du rôle des combinaisons entre les deux éditions des *Élémens* est très significatif [79]. Dans la première édition, les résultats et les problèmes sur les combinaisons font partie de ce que Prestet décrit comme une démarche synthétique, par opposition à celle, analytique, qui exprime par des lettres les relations des grandeurs cherchées selon l'énoncé et, par des transformations algébriques, en déduit ces grandeurs. Exprimant les objets à combiner par des lettres, il constate toutefois déjà [80] (à la suite de Franz van Schooten) « que toutes ces conjonctions [de planètes] ou combinaisons s'expriment en même sorte que les produits. Pour multiplier a par b, l'on écrit ab ou ba, et pour combiner a avec b, l'on écrit aussi ab ou ba ». Un peu plus tard, s'intéressant cette fois aux combinaisons avec répétition et ordre, il ajoute [81] :

> L'on peut appercevoir une communication assez merveilleuse entre ces combinaisons et les puissances. Car en cherchant tous ces differens ordres, l'on ne fait autre chose qu'élever la somme des grandeurs données [...] à la seconde puissance, si on les combine deux à deux, à la troisième, si on les combine trois à trois. Et ainsi des autres. Par exemple, lorsque nous avons combiné a et b deux à deux, nous avons trouvé aa, ab, ba, bb qui sont le carré de $a + b$.

Ces remarques annoncent le tournant de la seconde édition : le livre traitant de la composition des grandeurs place au centre une nouvelle notion, celle de produits alternatifs de différents degrés de diverses grandeurs : un produit alternatif de 4 degrés de plusieurs grandeurs, par exemple, est obtenu en multipliant quatre à quatre ces grandeurs, de toutes les façons possibles. Prestet explique ensuite comment trouver méthodiquement tous les produits alternatifs, et leur nombre, selon le degré et le nombre de grandeurs considérées, reliant ces résultats aux

78 - [Charles-René Reyneau], *Analyse démontrée ou la méthode de résoudre les problèmes des mathematiques* (Paris : Jacques Quillau, 1708).

79 - Geoffroy Bringer, « Jean Prestet et la combinatoire dans les Élémens des mathématiques de Prestet », mémoire de master (Sorbonne Université, 2018).

80 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 336.

81 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 351.

nombres figurés. « Pour trouver toutes les combinaisons de diverses choses : on désignera chacune par une lettre. Et prenant ensuitte chaque lettre et chacun de leurs divers produits alternatifs, on aura aussi toutes les combinaisons des choses proposées [82]. » Le jeu entre juxtaposition de symboles et multiplication de grandeurs cèle ici la jonction des combinaisons à l'algèbre, et comme nous l'avons vu plus haut, ouvre la voie, par exemple, pour la démonstration de théorèmes importants.

De l'abstraction

Mais cet intégration des combinaisons permet aussi à Prestet une remarquable restitution de l'ambiguïté inhérente entre les racines d'une équation algébrique. De la composition des grandeurs, il passe à la combinaison des égalités. Comme expliqué, Prestet a défini, parallèlement aux nombres premiers, des expressions algébriques qu'il qualifie de simples, les expressions linéaires (du premier degré) ; il en découle des égalités simples, comme $z-2=0$, puis d'autres, dites composées, lorsque le degré de l'inconnue, ou des inconnues, est plus grand que 1 [83]. Prestet présente alors des énoncés qu'il qualifie d'axiomes, un par degré, dont voici celui pour le deuxième degré :

> Axiome, qui est le principe des égalitez de deux degrez. Deux grandeurs estant données, le quarré de celle des deux que l'on voudra moins ce même quarré moins encore le plan [84] des deux grandeurs, plus le même plan, est égale à zéro [85].

Cet énoncé paraît une tautologie puisqu'on ajoute, puis soustrait les mêmes quantités. Mais Prestet, « pour [en] donner une expression abbregée », suppose « une inconnuë, qui pouvant estre prise pour l'une ou pour l'autre des deux grandeurs,

82 - Prestet, *op. cit. in* n. 6, t. 1, 119.
83 - Par exemple, Prestet, *op. cit. in* n. 9, 355-356.
84 - Rappelons que, comme dans les Éléments euclidiens, un plan est composé de deux grandeurs par multiplication (autrement dit, géométriquement, forme un rectangle). Cette notion qui semble simplement généraliser celle de carrés (cas où les deux grandeurs qui le forment sont égales) est en fait assez délicate à manier, car ses propriétés et mises en oeuvre dépendant de la décomposition et pas seulement du résultat global.
85 - Prestet (1675), *op. cit. in* n. 9, 358 ; voir aussi Prestet (1689), *op. cit. in* n. 6, t. 2, 345-346.

marque cette mutuation reciproque qu'elles font entr'elles». En conséquence, si les deux grandeurs sont a et b, «au lieu de dire le quarré de a ou le quarré de b, [il écrit] «seulement zz, le quarré d'une inconnuë comme z, qui convient autant à la grandeur a qu'à la grandeur b». Les deux termes suivants de l'axiome peuvent alors s'écrire $-az - bz$,

> c'est-à-dire moins le produit de la même inconnuë z par les deux grandeurs a & b. Car z estant pour l'une des deux, il n'importe laquelle, & multipliée par toutes les deux, elle le sera necessairement par soy-même, ce qui donnera son quarré, elle sera aussi multipliée par l'autre, ce qui fera le plan des deux, ainsi $-az-bz$ vaudra également moins le quarré de a ou moins le quarré de b, moins encore le plan de a par b. Et tout ce long discours se trouvera exprimé en écrivant simplement $-az - bz$.

L'Axiome se transcrit alors $zz - az - bz + ab = 0$. «Et dans cette égalité, z sera une expression sensible qui marquera également l'une ou l'autre des deux grandeurs a & b, il n'importe laquelle [86] ». La composition des égalités simples donne donc immédiatement la relation entre coefficients de l'équation et racines [87] : «Or si l'on multiple les deux égalitez simples $z - a = 0$, & $z - b = 0$, l'une par l'autre, leur produit donnera l'égalité $zz - az - bz + ab = 0$, qui est la même que la précédente. D'où il est clair que les deux racines a & b sont telles que tout le rapport d'égalité exprimé dans l'Axiome, ou dans l'égalité qui le représente, peut convenir également à chacune d'elles. Ce qu'on peut encore voir sensiblement [en substituant a ou b à z dans l'égalité].»

Pour mettre mieux encore en évidence cette interchangeabilité des deux racines de l'équation composée, Prestet suggère d'ailleurs une nouvelle disposition graphique de l'équation

$$\begin{aligned} zz - az + ab &= 0 \\ - bz \quad & \end{aligned}$$

car, dit-il, les termes $-az$ et $-bz$ correspondant à la multiplication des termes connus par l'inconnue à un même degré (1 ici) ne

86 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 358.
87 - Prestet, *op. cit. in* n. 9, 358.

doivent être considérés que comme un seul terme. Il posera de même, pour les équations de degré 3, avec trois racines a, b, c :

$$\begin{aligned} z^3 &- azz + abz - abc = 0 \\ &- bzz + acz \\ &- czz \;+ bcz \end{aligned}$$

et de même pour les degrés supérieurs. Comme l'a fait remarquer Katia Asselah, les expressions formées par les connues (par exemple ici *ab*, *ac*, *bc*) en coefficient de l'inconnue z correspondent aux combinaisons deux par deux des trois connues, liant ainsi les coefficients de l'équation à ce que nous appelons maintenant les fonctions symétriques des racines, et directement aux résultats sur les combinaisons [88].

Si l'algèbre a rendu plus général le calcul, en l'étendant à toutes les quantités, et a automatisé par des transformations bien identifiées la résolution de toutes sortes de problèmes, elle oblige souvent à lever, au moins dans son utilisation correcte, les imprécisions et ambiguïtés possibles du langage ordinaire [89]. Or, ici, Prestet réussit à percevoir et à montrer la manière dont les racines peuvent être permutées du point de vue de l'écriture de l'équation. La tautologie de l'axiome devient, par le remplacement de chacune des racines (sans les distinguer) par une même lettre z, une *représentation de l'ambiguïté* qui existe entre les racines par l'équation même. Il y a donc ici un processus d'abstraction, mais dans une direction nouvelle et différente de celle, bien connue, attachée au remplacement d'une valeur numérique par un symbole littéral. La réflexion sur les combinaisons s'avère non seulement fructueuse, mais transformatrice pour le développement de l'algèbre [90].

88 - Ce lien est décrit plus précisément et contextualisé dans Asselah (2011), *op. cit. in* n. 5.
89 - Bien que ce soit perçu comme un accroissement de précision et d'efficacité dans l'expression, il existe des cas où le langage ordinaire permet une économie en traitant ensemble plusieurs cas. Un exemple est donné dans Goldstein (1995), *op. cit. in* n. 70, 83-89.
90 - On sait que Leibniz a renforcé ses projets mathématiques, qui inclut une composante combinatoire importante, lors de son séjour à Paris, voir Arilès Remaki, « L'art combinatoire en tant qu'art d'inventer chez Leibniz, sur la période 1672-1680 », thèse de doctorat (univ. Paris Cité, 2021).

Coda : du savoir sur les nombres des malebranchistes

Commentant l'entrée en scène de Viète, Katherine Neal explique : « François Viète introduced an improved form of symbolism : unknowns were distinguished from given magnitudes by being labelled with capital vowels while the given magnitudes were denoted by capital consonants. This powerful new symbolism was used to denote both unknown magnitudes and numbers ; it indicated that numbers and magnitudes were, in a sense, interchangeable [91]. »

L'extension de résultats sur les nombres, entiers ou rationnels, aux grandeurs quelconques est de fait un mouvement dont les formes, de Viète et Clavius à Descartes ou John Wallis, ont été multiples, mais aussi souvent contradictoires. C'est surtout la fusion, par l'algèbre, du discret et du continu que l'historiographie a retenue, comme prélude au traitement analytique de l'infini et au calcul infinitésimal. Pourtant, prendre en considération les travaux sur les nombres des proches de Malebranche suggère une révision profonde de ce récit.

Les polémiques tant à l'intérieur des cercles malebranchistes qu'entre certains de leurs membres et des mathématiciens extérieurs ne doivent pas masquer la continuité des recherches mathématiques au sein de ces cercles : si l'Hôpital critique les méthodes cartésiennes alors que Prestet continue à les louer jusqu'à son décès, tous deux manifestent à la fois l'intégration souvent délicate de la symbolique cartésienne à d'autres apports de la même génération, en particulier de la combinatoire héritée de Pascal et de nouvelles manières de mêler fini et infini, et par là-même d'une distanciation, qu'elle soit revendiquée ou non, par rapport aux priorités cartésiennes [92].

Dans cette perspective, le calcul infinitésimal n'apparaît alors

91 - Katherine Neal, *From discrete to continuous* (Kluwer, 2002), 1-2. Sur cette question, voir aussi Antoni Malet, Renaissance notions of number and magnitude, *Historia mathematica*, 33 (2006), 63-81.

92 - Sur ce point pour Prestet, voir Goldstein, *op. cit. in* n. 7. Un autre exemple se trouve transcrit dans Malebranche, *op. cit. in* n. 3, t. XVII-2, *Mathematica*, 71-72, où le dénombrement de sommes de carrés entiers sert de prélude à un calcul du périmètre d'un cercle.

que comme une facette des innovations possibles, celle qui a bénéficié pour un temps de l'éclairage le plus vif. Mais même en l'absence de nouveaux résultats spectaculaires, les travaux des malebranchistes témoignent de premiers prolongements possibles vers une arithmétique (théorique) des quantités symboliques – des polynômes –, d'une tentative pour exprimer les relations entre racines d'une équation et d'une porosité des résultats portant sur les nombres et sur les polynômes, voire, comme nous l'avons vu avec l'exemple des sommes de puissances, sur ce qui ne s'appelle pas encore les séries. Certains de ces aspects ne seront pleinement développés qu'à la fin du XVIIIe et surtout au cours du XIXe siècle [93]. Déterminer si ces prolongements sont ancrés dans des filiations réelles ou un artefact historiographique favorisé par notre regard actuel demande un examen des transmissions concrètes des travaux arithmétiques des cercles malebranchistes, qui reste à faire. Mais qu'il s'agisse d'un véritable héritage ou d'une réactivation, à une échelle plus large, d'un nouveau mode d'abstraction, c'est finalement à la question de savoir comment l'historiographie peut, et doit, se servir de ces futurs multiples et des fils fragiles qui les relient que nous renvoient les mathématiciens qui travaillèrent sur les nombres et les combinaisons dans l'environnement malebranchiste.

93 - Pour des jalons importants, voir Asselah (2011), *op. cit. in* n. 5 ; Remaki, *op. cit. in* n. 90 ; Erwan Penchèvre, « Histoire de la théorie de l'élimination », thèse de doctorat (univ. Paris-VII, 2006) ; Liliane Alfonsi, Étienne Bézout : analyse algébrique au siècle des Lumières, *Revue d'histoire des mathématiques*, 14 (2008), 211-287 ; Jenny Boucard, Louis Poinsot et la théorie de l'ordre : un chaînon manquant entre Gauss et Galois ?, *Revue d'histoire des mathématiques*, 17 (2011), 41-138.

Le polygone infinitangulaire du calcul leibnizien, un concept général du courbe ?

Appropriations au sein du cercle de Malebranche

Sandra Bella *

Résumé : Dès les premières publications de son calcul différentiel et intégral, Leibniz explique que le principe essentiel pour étudier une courbe est de la considérer comme un « polygone infinitangulaire » ou un « polygone d'une infinité de côtés ». Cette supposition n'est pas nouvelle dans l'histoire de la pratique mathématique mais Leibniz soutient que, dans le contexte de son invention, elle est celle qui conduit à un concept général de courbe. Cette contribution se place dans le contexte de la réception du calcul infinitésimal de Leibniz chez un cercle de mathématiciens réunis autour du philosophe Nicolas Malebranche au tournant du XVII[e] siècle. Ces mathématiciens ont déjà entrepris un renouveau de leurs connaissances et ce n'est donc pas en terres vierges qu'ils s'approprient de l'invention leibnizienne. Manuscrits à l'appui, nous examinons les variations épistémologiques que subit le concept de polygone infinitangulaire à travers la nouvelle pratique d'écriture que représente le calcul leibnizien mais en tenant compte des formes d'intertextualité mises en œuvre par les acteurs.

Mots-clés : courbe ; polygone infinitangulaire ; calcul différentiel ; infinitésimal ; Guillaume de L'Hospital ; Nicolas Malebranche ; Pierre Varignon.

Summary: *As early as the first publications of his differential and integral calculus, Leibniz stated that the essential principle for studying a curve was to consider it as an "infinitangular polygon" or a "polygon of infinitely many sides." This supposition is not entirely original in the history of mathematical practice, but Leibniz claims that, in the context of his invention, it is the one that ultimately leads to a general concept of a curve. This contribution is presented in the context of the reception of Leibniz's calculus by a circle of mathematicians around the philosopher Nicolas Malebranche at the turn of the 17th century.*

* Sandra Bella, archives Henri-Poincaré, 91, avenue de la Libération, 54 000 Nancy. Email : bellusky@hotmail.com.

These mathematicians had already undertaken a renewal of their skills, and so they did not appropriate Leibniz's invention in virgin territory. Based on manuscripts, we examine the epistemological variations undergone by the concept of the infinitangular polygon through the new practice of writing represented by the Leibnizian calculus, as well as the forms of intertextuality employed by the actors.

Keywords: *curve; infinitangular polygon; differential calculus; Guillaume de L'Hospital; Nicolas Malebranche; Pierre Varignon.*

Introduction

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) rend public son calcul différentiel et intégral entre 1684 et 1686 par des articles parus dans le journal *Acta eruditorum*. Il s'agit de présenter de nouvelles méthodes calculatoires pour étudier les propriétés des courbes – tangence, extrema, points d'inflexion et quadratures [1]. Dans son article d'octobre 1684 [2], il présente le concept de différences ou différentielles accompagné de la notation caractéristique d, ainsi que les règles opératoires qui s'appliquent sur ces nouveaux objets. Il assure que sa nouvelle méthode va permettre de trouver les tangentes et les extrema des courbes en évitant enfin les inconforts calculatoires d'autres méthodes qui la précèdent – entre autres celles de René Descartes (1596-1650), Pierre de Fermat (1605-1665) ou Isaac Barrow (1630-1677) – puisque son calcul s'applique directement sur les expressions et non sur les égalités dont le maniement est moins aisé [3].

L'invention de Leibniz apparaît dans la continuité des préoccupations de ses contemporains. En effet, la recherche de méthodes permettant d'étudier de manière générale les proprié-

1 - Au début, chez Euclide, la quadrature d'une figure est un problème de construction, à la règle et au compas, d'un carré ayant même aire que cette figure. Au XVII[e] siècle, il s'agit d'évaluer l'aire d'une figure par une méthode calculatoire ou pas, en général en la comparant à l'aire d'une autre figure non nécessairement celle d'un carré.

2 - Gottfried Wilhelm Leibniz, Nova methodus pro maximis et minimis, itemque tangentibus, quæ nec fractas nec irrationales quantitates moratur, et singulare pro illis calculi genus, *Acta eruditorum*, 3 (1684), 467-473.

3 - On pourra consulter : Enrico Giusti, Le problème des tangentes de Descartes à Leibniz, *Studia Leibnitiana : Sonderheft*, 14 (1986) ou Sandra Bella, *La (Re)construction française de l'analyse infinitésimale de Leibniz : 1690-1706* (Paris : Classiques Garnier, 2022), 33-85.

tés d'une courbe [4] est l'une des principales tâches à l'agenda des géomètres du dix-septième siècle. Pour rappel, dans *La Géométrie*, Descartes propose une méthode générale pour étudier des courbes. Mais il ne s'intéresse qu'à celles – qu'il nomme « géométriques » – auxquelles on peut associer une équation algébrique, ce qui restreint le champ d'étude. En effet certaines courbes – que lui-même désigne par « méchaniques » – en sont bannies car elles ne pouvent être réduites à une équation algébrique [5].

Pour Leibniz, l'un des « principes généraux pour la mesure des lignes courbes » est de considérer toute figure curviligne comme « équipollente [*æquipollare*] » à un polygone *infinitangulaire* [6]. Bien que cette considération ne soit pas nouvelle, Leibniz insiste sur son caractère principiel. Dans le contexte de l'invention de son calcul différentiel, il estime que le « polygone infinitangulaire » conduit à concevoir la « courbe » de la manière la plus générale [7]. Ce type de remarque apparaît dans ses écrits avant même la publication de son calcul. Fin 1675, dans une lettre à Jean Gallois (1632-1707), il explique que pour réaliser la quadrature arithmétique du cercle [8], il a considéré le cercle « suivant la manière de raisonner receue aujourd'huy », en supposant « qu'un curviligne n'est qu'un polygone infinitangle » et que cette manière de procéder peut se « réduire à celle des

4 - L'étude d'une courbe cherche à déterminer les *extrema*, les tangentes, la convexité / concavité ; la quadrature ; un point d'inflexion ou d'autres points singuliers, la courbure.

5 - René Descartes, *Discours de la méthode pour bien conduire la raison, et chercher la vérité des sciences plus La Dioptrique, Les Météores et La Géométrie qui sont des essais de cette méthode* (Leyde : Jan Maire, 1637).

6 - Gottfried Wilhelm Leibniz, Additio ad schedam in Actis proxime antecedentis maji pag. 233 editam, *Acta eruditorum*, 3 (1684), 585. Les expressions « polygone infinitangulaire », « polygone d'une infinité de côtés » et « polygone infinilatère » sont utilisées par les géomètres pour désigner une même chose.

7 - « Tout cela peut être déduit d'un de mes principes généraux pour la mesure des lignes courbes : *toute figure curviligne peut être considérée comme équipollente* [æquipollare] *à un polygone d'une infinité de côtés*, il s'ensuit que ce qu'on peut établir quant à un tel polygone, qui soit ne dépende pas du nombre de côtés, soit devienne d'autant plus vrai qu'on prend un nombre de côtés plus grand, de sorte que l'erreur finisse par être plus petite que toute erreur donnée, on peut également l'affirmer de la courbe. », Leibniz, *op. cit. in* n. 2.

8 - C'est-à-dire fournir sous forme d'une série infinie de nombres rationnels l'estimation de l'aire d'un cercle.

anciens par les inscrits et circonscrits [9]. » Dans cette dernière citation, Leibniz rappelle que supposer une courbe comme un polygone *infinitangle* est une pratique partagée. D'où vient cette affirmation ?

La géométrie des Anciens possède de nombreux résultats concernant les figures rectilignes, les principaux étant établis dans les *Éléments* euclidiens [10]. Les figures rectilignes sont ainsi l'apanage de la géométrie des Anciens dont héritent les géomètres du XVII^e^ siècle. Pour démontrer qu'une figure curviligne possède une propriété, il est souvent efficient de montrer qu'un polygone (rectiligne) possède la propriété concernée. La démarche consiste ensuite à inscrire et à circonscrire la figure curviligne par une paire de polygones et finir la démonstration par un double raisonnement par l'absurde. Cette dernière étape, parfaitement rigoureuse, est en général assez laborieuse et de ce fait critiquée par les géomètres du XVII^e^ siècle. « La manière de raisonner receue aujourd'huy » que Leibniz mentionne repose sur la substitution de cette dernière étape par un raisonnement direct. Il est direct car il consiste à affirmer que ce qui a pu être énoncé pour un polygone à un nombre fini de côtés demeure pour un polygone d'un nombre infini de côtés, c'est-à-dire pour la figure curviligne considérée [11]. L'enjeu crucial est qu'une telle substitution soit légitime aux yeux des acteurs.

Lorsque Leibniz souligne que la supposition du polygone infinitangulaire est « receue aujourd'huy », il fait référence à une pratique qui a lieu au moins depuis la Renaissance. En effet,

9 - Lettre de Leibniz à Gallois, fin 1675 *in* Gottfried Wilhelm Leibniz, *Sämtliche Schriften und Briefe*, éd. par la Preußische Akademie der Wissenschaften à Berlin, puis par la Berlin-Brandenburgische Akademie der W. et l'Akademie der W. zu Göttingen (Darmstadt, puis Leipzig, puis Berlin, 1923-), sér. III, vol. 1, p. 356.

10 - À titre d'exemple, Euclide démontre la quadrature de toute figure rectiligne (proposition 14 du livre II). Au livre VI concernant les figures semblables, la proposition 19 énonce que des triangles semblables sont l'un à l'autre comme le carré du rapport de leurs côtés et la proposition 20 généralise la précédente pour une paire de polygones semblables. La proposition 25 énonce qu'il est possible de construire une figure rectiligne semblable à une autre et ayant une grandeur donnée.

11 - Un des exemples le plus connus est celui de la démonstration de la proposition 2 du livre XII des *Éléments* d'Euclide qui énonce que (les aires de) deux cercles sont entre eux comme les carrés de leurs diamètres. Elle est précédée de la proposition 1 qui montre que des polygones semblables inscrits dans des cercles sont entre eux comme les carrés des diamètres. Cette dernière permet de déduire *ad absurdum* la proposition 2.

elle est un outil direct utilisé pour démontrer des résultats dans le cas particulier du cercle [12]. Appliquée à toutes sortes d'autres courbes, elle est coutumière au moins implicitement chez les géomètres, notamment Blaise Pascal (1623-1662), Gilles Personne de Roberval (1602-1675), Isaac Newton (1642-1727), comme chez Barrow et Leibniz [13]. Un des enjeux de notre contribution est d'examiner les variations épistémologiques que subit le concept de polygone infinitangulaire à travers la nouvelle pratique d'écriture que représente le calcul leibnizien. Pour ce faire, nous nous placerons dans le contexte particulier de l'appropriation parisienne de ce calcul que nous décrivons ci-dessous.

En France, vers 1690, un groupe de savants réunis autour du philosophe Nicolas Malebranche [14] (1638-1715) s'intéresse au calcul de Leibniz ne circulant que depuis une décennie. Ce n'est pas leur seul centre d'intérêt. En effet, ces savants ont déjà entrepris ce que l'historien Pierre Costabel a qualifié de « Réforme mathématique », réforme par laquelle ils ambitionnent collectivement d'atteindre une « voie moyenne entre l'analyse cartésienne et les méthodes nouvelles [15] », notamment celles des mathématiciens anglais John Wallis (1616-1703) et Barrow. En 1960, An-

12 - À titre d'exemple, on pourrait citer certains auteurs de la Renaissance comme François Viète (1540-1603) qui l'utilise pour démontrer la proposition 2 du livre XII des *Éléments* d'Euclide : *Circulus enim censetur figura plana infinitorum laterum & angulorum*, *in* François Viète, *Variorum de rebus mathematicis responsorum, liber VIII. Cujus præcipua capita sunt, De duplicatione cubi, & Quadratione circuli. Quæ claudit Πρόχειρον, seu Ad usum mathematici canonis methodica* (Tours : Jamet Mettayer, 1593), 22.

13 - Descartes n'institue pas la courbe comme polygone infinitangulaire dans *La Géométrie* mais il lui arrive d'utiliser cette supposition pour chercher des propriétés de courbes. À titre d'exemple, dans la lettre à Mersenne du 23 août 1638, pour chercher la tangente à la cycloïde, il suppose que le cercle générateur est un polygone régulier d'une infinité de côtés. Raisonnant à partir d'un hexagone régulier, il en déduit ce qui se produit lorsque cet hexagone « devient » le cercle générateur. René Descartes, *Œuvres de Descartes*, éd. Charles Adam & Paul Tannery, nouvelle présentation, en co-édition avec le CNRS (Paris : Vrin, 1964-1974), t. II (Paris : Vrin), 309.

14 - Tous ne sont pas parisiens et certains résident en Normandie (Rouen, Angers, Honfleur). Louis Byzance (1647-1722), Louis Carré (1647-1711), François de Catelan (floruit 1676-1710), Bernard Le Bouvier de Fontenelle (1657-1757), Claude Jaquemet (1651-1729), Bernard Lamy (1640-1715), Thomas Fantet de Lagny (1660-1734), Jacques Lelong (1665-1721), Jean Prestet (1648-1690), Charles Reyneau (1656-1728), Pierre Varignon (1654-1722).

15 - Nicolas Malebranche, *Œuvres complètes*, dir. André Robinet (Paris : Vrin, 1958-1990), t. XVII-2, *Mathematica*, I.

dré Robinet publie un article intitulé « Le groupe malebranchiste introducteur du calcul infinitésimal en France [16] » dans lequel il recense de nombreux manuscrits, principalement mathématiques, qu'il date entre 1690 et 1705. Ces manuscrits, sur certains desquels se mêlent plusieurs écritures, souvent sur une même page, témoignent d'une activité collective du cercle de Malebranche. Une partie de ces manuscrits a été retranscrite et analysée par Costabel dans un volume des *Œuvres complètes* de Malebranche, publié en 1968 [17]. L'objectif de l'édition de Costabel est de rendre compte de travaux collaboratifs de Malebranche et du cercle réuni autour de lui : d'un « mouvement scientifique en France et de la part que Malebranche y a prise [18] ». Une partie des manuscrits retranscrits appartient à la période entre 1690 et 1692, alors que le collectif n'a pas encore rencontré le calcul de Leibniz. Ces manuscrits mettent en évidence la familiarisation du groupe avec certaines techniques analytiques conduisant entre autres à la production d'une méthode de tangentes par L'Hospital. Ce que ce groupe désigne par « Arithmétique des infinis », en référence au célèbre ouvrage de Wallis, consiste en des quadratures de coniques via cette méthode de tangentes.

Ainsi l'appropriation du calcul leibnizien n'a pas lieu en terres vierges et par conséquent nous serons attentifs à la manière dont ces acteurs reconstruisent l'inédit du calcul leibnizien en composant avec des méthodes analytiques, dont certaines viennent tout juste d'être intégrées.

En décembre 1691, Jean Bernoulli séjourne à Paris pendant une année, durant laquelle L'Hospital reçoit de sa part des cours privés de calcul différentiel et intégral. Ces cours sont conservés sous forme de manuscrits qui circulent à l'intérieur du cercle de Malebranche. Pour L'Hospital, l'apprentissage du calcul leibnizien et de ses applications se poursuit sous forme épistolaire après le départ du professeur [19]. Ce manuscrit et ces échanges

16 - André Robinet, Le groupe malebranchiste introducteur du calcul infinitésimal en France, *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 13 (1960), 287-308.

17 - Malebranche, *op. cit. in* n. 15.

18 - Malebranche, *op. cit. in* n. 15, I.

19 - Ces échanges ont été édités par Otto Spiess *in* Johann Bernoulli, *Der Briefwechsel von Johann Bernoulli*, vol. 1 (Bâle : Birkhaüser, 1955). Le cours de calcul différentiel a été édité par Paul Schafheitlin en 1922 *in* Johannis (I) Bernoullii Lectiones de calculo differentialium, *Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel*, 34 (1922-1923), 1-32.

permettent à L'Hospital, en juin 1696, de publier son *Analyse des infiniment petits pour l'intelligence des lignes courbes*[20]. Il s'agit du premier traité dans lequel est exposé le calcul différentiel : ses « éléments » – définitions, postulats, règles de différentiation justifiées – et ses principales applications à l'étude des courbes. Des deux seules demandes que L'Hospital énonce, la deuxième est de pouvoir considérer une courbe comme « un poligône d'un nombre infini de côtés ; chacun infiniment petit, lesquels déterminent par les angles qu'ils font entr'eux, la courbure de la ligne[21] ».

Dans cette contribution, nous rendons compte des formes d'intertextualité mises en œuvre par le cercle de Malebranche dans leur pratique, façonnant la figure du polygone infinitangulaire et conduisant finalement à l'instituer comme postulat régissant toute étude de la courbe.

Vers une généralité analytique des méthodes de tangentes : à partir de Barrow

Comme nous l'avons remarqué *supra*, l'idée de considérer une courbe comme un polygone d'une infinité de côtés n'est pas inédite. En particulier, elle se retrouve presque sans développement calculatoire chez certains géomètres dont le cercle de Malebranche est lecteur : Antoine Arnauld (1612-1694) et Bernard Lamy (1640-1715) parmi les Français, mais aussi chez l'Anglais Barrow.

Dans chacun de leurs ouvrages consacrés aux éléments de la géométrie, Arnauld et Lamy érigent en demande la supposition du cas particulier du cercle comme polygone d'une infinité de

20 - Guillaume de L'Hospital, *Analyse des infiniment petits pour l'intelligence des lignes courbes* (Paris : Imprimerie royale, 1696).
21 - L'Hospital, *op. cit. in* n. 20, 3.

côtés [22]. Dans ce cas particulier, le polygone n'a pas seulement tous ses côtés égaux mais aussi ses angles de même mesure, ce qui est cohérent, leur dessein étant de démontrer de manière directe la deuxième proposition du livre XII [23] qui concerne le cercle.

Barrow compose les *Lectiones geometricæ* dans le but d'exposer plusieurs résultats concernant l'étude « générale » des lignes courbes [24] [*generalia curvarum linearum symptomata*]. Il tient à ce que ces résultats soient démontrés géométriquement, c'est-à-dire sans l'intermédiaire d'outils calculatoires. Malgré ces préventions, il présente un algorithme de calcul permettant de trouver une tangente à une courbe que nous reconstituons ci-dessous. Il introduit des notations qui perdureront dans la pratique de ses contemporains. Pour ce faire, Barrow suppose, après l'avoir justifié, qu'un arc de courbe puisse être pris pour un segment rectiligne – il utilise le terme « équipollent [25] » – dans le cas de problèmes liés à la recherche de tangentes [26].

Soit AM une courbe d'axe AP dont il faut construire la tangente MT en M. M et N sont « indéfiniment [27] » proches et ont pour coordonnées respectives AP et PM, et AQ et QN ; QN et NR sont

22 - Antoine Arnauld, *Nouveaux éléments de géométrie* dans Dominique Descotes (éd.), *Géométries de Port-Royal* (Paris : Honoré Champion, 2009), 310. Dans l'ouvrage de Lamy, le fait de considérer un cercle comme un polygone (régulier) d'une infinité de côtés passe d'être un corollaire à celui d'être une demande, c'est-à-dire « une proposition qui n'est pas si évidente qu'un axiome, mais aussi qu'on ne peut contester ; ainsi on demande qu'on accorde, pour n'être pas obligé de la démontrer », Bernard Lamy, *Les Élémens de géométrie ou de la mesure du corps, qui comprennent les Élémens d'Euclide et l'analise, les plus belles propositions d'Archimède touchant le cercle, la sphère, le cylindre et le cône, par le r. p. Bernard Lamy*, 2de éd. (Paris : André Pralard, 1695), 118.

23 - Voir note 11.

24 - Isaac Barrow, *Lectiones geometricæ in quibus præsertim generalia curvarum linearum symptomata declarantur* (Londres : J. Dunmore, 1670).

25 - *Quod si calculum ingrediatur curvæ cujuspiam indefinita particula ; substituatur ejus loco tangentis particula rite sumpta ; vel ei quævis (ob indefinitam curvæ parvitatem) æquipollens recta.* Voir Barrow, *op. cit. in* n. 24, 81.

26 - En faisant appel à un résultat archimédien de convexité, il montre qu'un arc de courbe entre deux points « indéfiniment » proches est compris entre les deux segments de tangentes à ces deux points (Barrow, *op. cit. in* n. 24, 39-40). Cette supposition justifiée est utilisée tout au long de ses démonstrations de théorèmes concernant les tangentes aux courbes. Accompagnée ou non d'une justification, cette supposition apparaît également chez des auteurs contemporains comme Fermat ou Pascal.

27 - Barrow utilise le terme « indéfiniment » plutôt qu'« infiniment ».

parallèles respectivement à PM et AP. Dans ces conditions, Barrow indique que l'arc MN peur être substitué par la corde MN. Comme le triangle fini MTP est semblable au triangle « indéfiniment » petit MNR [28], on a l'égalité de rapports :

$$\frac{\mathrm{MR}}{\mathrm{NR}} = \frac{\mathrm{MP}}{\mathrm{TP}}.$$

Il note $\mathrm{AP} = n$, $\mathrm{MP} = m$, $\mathrm{PT} = t$, et par e [29] (respectivement par a), la différence des abscisses NR (respectivement des ordonnées MR). Ainsi la sous-tangente $\mathrm{PT} = t = \frac{me}{a}$.

Il décrit ensuite les différentes étapes de la procédure algorithmique : il faut substituer, dans l'équation de la courbe, $n + e$ à n et $m + a$ à m, ce qui donne une deuxième équation dont on soustrait la première. Il élimine ensuite les termes contenant une puissance supérieure à deux de a ou de e, ou de quelque produit de a ou e car – affirme-t-il – « ces termes vaudront rien [30] ». Puis il rejette tous les termes qui ne contiennent pas de a ou e. Ainsi, il est possible de former le rapport $\frac{me}{a}$, c'est-à-dire calculer la valeur t de la sous-tangente. Aucune justification n'est donnée sur le bien-fondé de l'algorithme. Par la suite, il applique sa méthode à cinq exemples, certains déjà traités précédemment sans calcul [31].

Au moins trois manuscrits témoignent de l'appropriation de cet algorithme par le cercle de Malebranche [32]. Costabel date les

28 - Il admet donc que la notion de similitude de triangles demeure entre un triangle fini et un autre « indéfiniment » petit

29 - Les notations e et a perdureront dans la littérature mathématique des décennies suivantes.

30 - Barrow, *op. cit. in* n. 24, 81 : *Etenim isti termi nihil valebunt.*

31 - À titre d'exemple, il traite (ex. II) la courbe dont la somme du cube de l'abscisse et celui de l'ordonnée de chacun des points est égale au cube d'un segment donné de longueur r. L'équation obtenue est $n^3+3n^2e+3ne^2+e^3+m^3-3m^2a+3ma^2-a^3 = n^3+m^3$. En appliquant l'algorithme, on obtient d'abord $3n^2e+3ne^2+e^3-3m^2a+3ma^2-a^3=0$, puis en rejetant les puissances : $3n^2e = 3m^2a$, on obtient $t = \frac{m^3}{n^2}$.

32 - [Guillaume de L'Hospital], « Manière de trouver les tangentes des lignes courbes », ms. BnF fr. 24236, f. 1r, désormais noté M1. [Guillaume de L'Hospital], « Méthode générale et facile pour déterminer les tangentes de toutes sortes de lignes courbes géométriques », ms. BnF fr. 24235, f. 79. [Guillaume de L'Hospital], « Méthode très facile et très générale pour trouver les tangentes de toutes sortes de courbes », ms. BnF fr. 25306, f. 7-8, désormais noté M2. Le copiste de ces trois manuscrits est Carré.

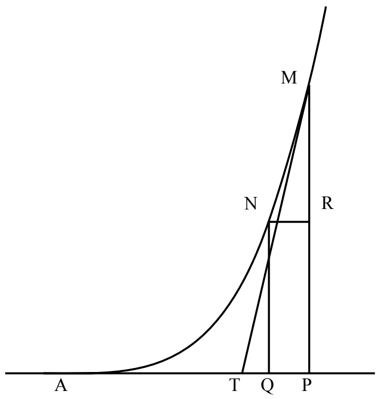


Figure 1
L'algorithme de Barrow (figure réalisée par l'auteure)

deux premiers des années 1690 et le dernier de 1692, ils sont tous les trois attribués à L'Hospital. Le deuxième n'est qu'un abrégé de l'algorithme et nous ne comparerons que les deux autres que nous noterons respectivement M1 et M2.

Dans M1, L'Hospital suppose que « les lignes courbes se peuvent considérer comme des polygones d'une infinité de petits côtez égaux ». Il précise que ce qui distingue les différents polygones associés aux courbes est l'angle que font les petits côtés égaux entre eux. Ainsi, le cercle est considéré comme un polygone dont tous « les côtez font entr'eux des angles egaux par ce que la courbure est uniforme » alors que l'ellipse est un polygone dont les « côtez font un plus grand angle vers les poles du petit diamètre que vers les poles du grand ». Cela, insiste L'Hospital, découle de la grandeur de la courbure de la courbe et « n'a pas besoin de preuve ». À cette affirmation, Malebranche ajoute une précision : « Cela est renfermé dans l'idée même de courbure [33]. » On trouve ici l'idée intuitive que la courbure en un point serait déterminée par l'angle entre deux tangentes « consécutives [34] ». Cette supposition mène L'Hospital à établir une définition de la

33 - [L'Hospital], M1, *op. cit. in* n. 32, f. 1^{r}. On reconnaît que cet ajout est de l'écriture de Malebranche.

34 - Même si quelques lignes plus loin, il semble contredire cette idée en écrivant que « le petit côté du polygone qui détermine en cet endroit la courbure de la ligne (...) », [L'Hospital], M1, *op. cit. in* n. 32, f. 1^{v}.

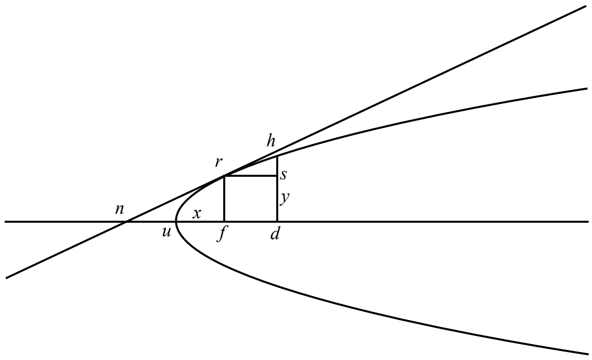


Figure 2
Figure réalisée par l'auteure d'après le ms. BnF fr. 24236, f. 1.

tangente comme étant « une ligne qui rencontrant un de ses côtez [du polygone] ne le coupe point et ne fasse avec lui qu'une même ligne [35] ».

L'Hospital n'ajoute aucun commentaire ni à cette supposition ni à sa définition qui sont les principes de sa méthode. Or, de toute évidence, l'égalité des côtés n'est pas nécessaire pour la recherche de tangentes comme cela peut être constaté dans les exemples qui suivent. La méthode est présentée directement à l'aide de l'exemple de la parabole d'équation $px = y^2$. Pour tirer la tangente *nh* d'un point *h*, il considère « un point *r* si proche du point *h* que le triangle *rhs* soit infiniment petit, ou que la ligne *rh* soit commune à la courbe et à la droite [36] ». Il note *hs* par *a*, fd par *e* et *nd* par *t*. Il s'agit donc des notations de Barrow, même si, contrairement à ce dernier, L'Hospital utilise le terme « infiniment » et non pas « indéfiniment ».

Comme $px = y^2$, au point *r* :

$$px - pe = yy - 2ay + aa$$

et en soustrayant ces deux équations, il obtient

$$e = \frac{2ay}{p} - \frac{a^2}{p},$$

35 - [L'Hospital], M1, *op. cit. in* n. 32, f. 1-2.
36 - [L'Hospital], M1, *op. cit. in* n. 32.

d'où

$$t = \frac{2yy}{p} - \frac{ay}{p}.$$

Il affirme sans justifier que $ay = 0$. Puis, en raison de la similitude des triangles *rhs* et *nhd* :

$$t = \frac{2yy}{p} = 2x.$$

L'algorithme de Barrow requérait d'effacer dès le début tous les termes qui sont des puissances de a ou e supérieures à deux, cette règle n'est pas ici appliquée à la lettre par L'Hospital. Cependant, après ce premier exemple, il remarque que dans l'équation $px - pe = yy - 2ay + aa$, on peut négliger « le quarré *aa* pour abbreger, par ce que ce quarré ne sert de rien pour decouvrir ce qu'on cherche et qu'il ne fait qu'alonger le calcul [37] ». Pour les exemples suivants – chacune des coniques et la courbe d'équation $y^3 = bxx$ – ces termes sont en revanche immédiatement effacés car chacun est « inutile à la résolution ». Ces exemples l'amènent à affirmer que sa méthode est générale pour toutes les lignes géométriques « lorsqu'on a l'équation qui exprime leur nature [38] ». Pour soutenir son affirmation, il fournit une expression de la sous-tangente de tous les types de paraboles et d'hyperboles, c'est-à-dire de toute courbe dont l'équation est

$$y^q = b^{q-p}x^p \quad \text{ou} \quad x^p y^q = b^q c^p,$$

avec p et q entiers positifs [39].

37 - [L'Hospital], M1, *op. cit. in* n. 32, f. 2^r.

38 - Il s'agit donc d'une méthode qui ne s'applique dans l'état qu'à des courbes qui possèdent une équation algébrique.

39 - Pour ce faire, il remarque que lorsque l'on développe la différence $(x - e)$ à n'importe quelle puissance, par exemple 10, les deux premiers termes qui apparaissent dans le développement sont x^{10}*et* $-\ 10ex^9$, de la même manière, dans le développement de $(x - e)^q$, les deux premiers termes qui apparaissent sont $x^q - qex^{q-1}$. Or, L'Hospital affirme qu'il est « inutile » de considérer les autres termes dans le calcul ([L'Hospital], M1, *op. cit. in* n. 32, f. 4^v). Lorsque les équations renferment des incommensurables, il conseille d'élever les racines « jusqu'à qu'il n'y en ait plus » ou encore de procéder à l'aide de la formule généralisée : $\sqrt[q]{\sqrt{(x-e)^p}} = (x-e)^{\frac{p}{q}} = x^{\frac{p}{q}} - \frac{p}{q}ex^{\frac{p-q}{q}}$ qu'il justifie à l'aide de considérations sur les puissances, *ibid.*, f. 7^v.

Ce manuscrit n'est donc en définitive qu'une reprise de l'algorithme de Barrow avec néanmoins quelques interstices pédagogiques. On n'y perçoit aucune modification significative sur les propriétés du polygone. L'Hospital reprend l'idée de l'égalité des côtés mais sans indiquer que cette supposition est vaine pour la recherche des tangentes, alors qu'elle peut s'avérer utile, comme on le verra *infra*, dans certaines méthodes de quadrature.

Le manuscrit M2 porte sur une « Méthode très facile et très générale de trouver les tangentes de toutes sortes de lignes courbes [40] ». L'adjectif « générale » marque ici, contrairement à la méthode précédente, l'ambition de traiter toutes les courbes, même celles qui ne sauraient avoir une équation algébrique.

L'Hospital, avant de présenter sa méthode algorithmique – de formulation quasi identique à celle de Barrow – énonce trois corollaires pour justifier le bien-fondé des suppositions sur lesquelles sa méthode repose, en particulier celle d'effacer des termes lorsqu'il applique son algorithme. Comme chez Barrow, ces corollaires ont pour but de justifier de prendre un segment pour un arc [41] et de considérer que la tangente peut être prise pour une droite joignant deux points infiniment proches [42]. L'Hospital souligne que ces corollaires s'appliquant à n'importe quel point de la courbe, ils s'appliquent à tous les points et qu'ainsi il est possible de considérer « une ligne courbe comme un polygone d'une infinité de cotez infiniment petits, lesquels déterminent par leurs angles la courbure de la ligne [43] ». L'Hospital ne fait plus de l'égalité des côtés une propriété du polygone,

40 - Ce manuscrit fait partie du deuxième traité d'un volume d'environ 400 pages comprenant quatre traités paginés de façon indépendante. L'ensemble du manuscrit est sans figures, des pages blanches étaient réservées et certaines ont été couvertes de notes, parfois incohérentes, de la main de Byzance. De nombreuses annotations marginales ponctuent le texte. Elles sont principalement aussi de la main de Byzance – qui possédait cette copie avant son internement en 1705 – mais quelques-unes sont de Malebranche.

41 - L'Hospital précise qu'il démontre les résultats dans le cas convexe mais que la preuve est la même pour le cas concave.

42 - Pour une description et analyse de ces corollaires, on pourra consulter Bella, *op. cit. in* n. 3, 98-99.

43 - [L'Hospital], M2, *op. cit. in* n. 32, f. 7.

ce qui est remarquable [44].

Il présente ensuite sa méthode qui n'est qu'une reformulation de l'algorithme de Barrow avec, ici aussi, des incises pédagogiques [45] et il fournit des exemples ; certains exemples, comme le note Byzance en marge, sont issus du texte de Barrow.

En raison d'une règle qui permet d'ôter les quantités irrationnelles [46], L'Hospital affirme que sa méthode est plus générale que celle de ses compatriotes – il cite Descartes et Fermat – pour traiter les courbes géométriques. Il prétend qu'il peut traiter aussi les courbes mécaniques, c'est-à-dire celles dont l'équation ne peut pas être réduite à une équation algébrique. C'est à cette tâche que L'Hospital s'attache dans les pages suivantes en s'inspirant de certains résultats qu'il emprunte encore aux *Lectiones geometricæ*. En effet, Barrow fournit des résultats concernant la construction des tangentes d'une courbe caractérisée par une relation entre chacune de ses ordonnées et chacun des arcs d'une autre courbe dont on sait construire la tangente. À titre d'exemple, la première proposition de la leçon X concerne une courbe AFI reliée à une courbe AEG de telle sorte que l'ordonnée EF de la première (qui coupe AEG en E et AFI en F) soit toujours égal à l'arc AE de la courbe AEG. La droite ET est la tangente à la courbe AEG en E. Barrow affirme et démontre que si ET est égal à l'arc AE alors TF est la tangente à la courbe AFI en F [47].

Cette proposition correspond au cas de la cycloïde lorsque la

44 - Cette hypothèse est invoquée à deux reprises dans le traité lorsque L'Hospital justifie sa « Methode generale pour trouver les plus grandes et les plus petites quantitez » (f. 49 *sq*) et sa « Methode generale pour trouver le point de contour » (f. 79 *sq*). Dans ces deux cas, il s'agit d'évaluer le rapport $\frac{a}{e}$ de manière uniforme sur la courbe, ce qui implique des divisions égales sur l'axe.

45 - Dans la description des étapes : remplacer x par $x \pm e$, ou encore le carré de x par celui de $x \pm e$, … idem pour y par $y \pm a$, etc. L'Hospital insiste à rejeter de suite tous les termes des puissances de a ou de e car « tous ces termes sont égaux à zero » (reprise de Barrow, *etenim isti termini nihil valebunt*).

46 - Il explique pourquoi il n'est pas nécessaire de conserver les termes autres que les deux premiers dans le développement de $(x-e)^{\frac{p}{q}}$ comme dans le manuscrit M1 précédent.

47 - Barrow, *op. cit. in* n. 24, 75. Pour démontrer ce résultat, Barrow considère un point G sur la courbe AG et le point K point de rencontre des droites TK et GK. Il écrit GK = GH + HK. Comme ETF et HTK sont semblables et que ETF est isocèle, HK = HT donc GK = GH+HT. Or, d'après les propositions 21 et 22 de la leçon VII, GH+HT $\geq$ arc AG = GI (*ibid.*, 62). Le point K est donc situé en dehors de la courbe AFI, donc TK est touchante en F.

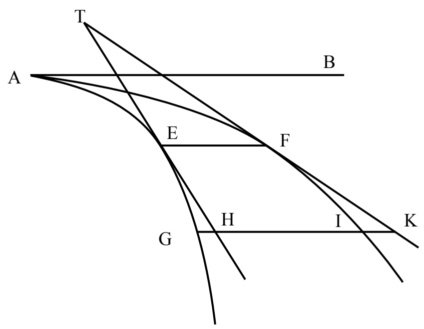


Figure 3
Figure réalisée par l'auteure d'après Barrow, op. cit. in n. 24, planche 5, fig. 104.

courbe AEG est un cercle. Sur les quatre exemples de courbes non géométriques que L'Hospital traite, le premier est celui de la cycloïde [48]. AMO est une moitié de cycloïde et ADE est la moitié du cercle générateur. M et N sont deux points infiniment proches sur la cycloïde, d'ordonnées respectives PM et QN, où D et G sont les deux points qui leur correspondent sur le cercle. Ainsi, de même que le cercle engendre la cycloïde, le polygone infinilatère se substituant au cercle engendre un polygone infinilatère. De sorte qu'à la direction du mouvement circulaire représenté par le côté infiniment petit DG correspond un mouvement sur la cycloïde représenté par le côté infiniment petit MN.

Pour évaluer le rapport $\frac{\mathrm{RN}}{\mathrm{RM}}$ connaissant $\frac{\mathrm{IG}}{\mathrm{ID}}$ (la tangente en D au cercle), la démarche de L'Hospital consiste à mener du point M la droite MS parallèle à DG. Il a alors $\frac{\mathrm{RN}}{\mathrm{RM}} = \frac{\mathrm{RS}}{\mathrm{RM}} + \frac{\mathrm{SN}}{\mathrm{RM}}$. Or, par construction $\frac{\mathrm{RS}}{\mathrm{RM}}$ est égal $\frac{\mathrm{IG}}{\mathrm{ID}}$ qui est connu puisque la tangente au cercle est connue. En utilisant l'engendrement qui caractérise

48 - Comme toutes les propositions sont exemptes de figures, la fig. 4 est ici une reconstitution de la configuration que le texte appelle. Cette figure s'inspire de la figure de la cycloïde qui apparaît dans L'Hospital, *op. cit. in* n. 20, 1re planche, fig. 7.

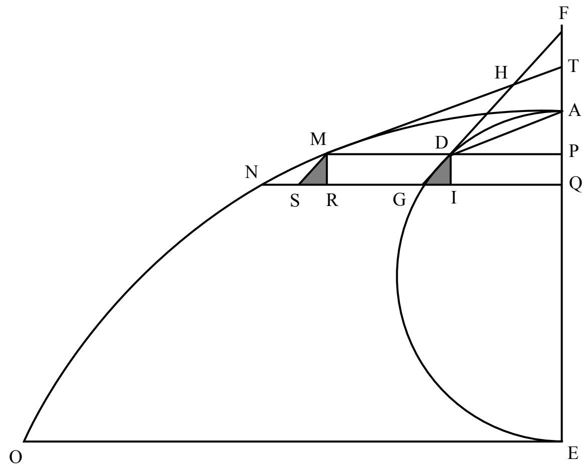


Figure 4
Figure réalisée par l'auteure d'après ms. BnF fr. 25306, f. 32-36.

la cycloïde, il a SN = DG [49]. La traduction analytique commence en notant AP $= x$, PD $= y$, PM $= z$, AE $= b$, PQ = DI = MR $= e$, GI $= a$, NR $= v$, $t =$ PT et l'équation du cercle étant $yy = bx - xx$, il obtient

$$a = \frac{be - 2ex}{2y} = \mathrm{GI}.$$

Cette dernière égalité traduit analytiquement la donnée de la tangente au cercle et plus généralement, comme on le verra plus loin, à la courbe génératrice.

Il en déduit DG $= \sqrt{aa + ee} = \frac{be}{2y}$ [50] d'où $v = \frac{be - 2ex}{2y} + \frac{be}{2y} = \frac{be - ex}{y}$.

49 - Car SN = NG − DM, or NG est égal à l'arc AG et DM est égal à l'arc AD, donc NS = AG − AD = DG. L'Hospital remplace les arcs par les segments car M et N sont infiniment proches donc D et G aussi.

50 - $aa = \frac{bbee - 4beex + 4eexx}{4yy}$ donc $aa + ee = \frac{bbee - 4beex + 4eexx + 4eeyy}{4yy}$. En substituant yy par $bx - xx$ dans le produit $4eeyy$, il obtient : $aa + ee = \frac{bbee}{4yy}$. Puis en vertu du triangle rectangle DGI, $\sqrt{aa + ee} = \frac{be}{2y} =$ DG.

Ainsi :

$$\frac{\mathrm{RN}}{\mathrm{RM}} = \frac{v}{e} = \frac{\frac{be-ex}{y}}{e} = \frac{z}{t} = \frac{\mathrm{PM}}{\mathrm{PT}} \quad \text{soit} \quad t = \frac{yz}{b-x} = \frac{xz}{y}.$$

Il fournit ensuite deux constructions. La deuxième est celle proposée par Barrow. Soit H l'intersection des deux tangentes. Les triangles MDH et NSM sont semblables donc $\frac{\mathrm{MD}}{\mathrm{DH}} = \frac{\mathrm{NS}}{\mathrm{MS}}$. Or dans le cas de la cycloïde NS = GD = MS, il suffit de prendre DH = MD pour tracer la tangente. Comme le diagramme aussi l'illustre, cette construction ne dépend pas de la propriété caractéristique de la cycloïde puisque la supposition que la courbe ADE soit un cercle n'intervient pas dans la définition des triangles ci-dessus mentionnés. Elle est donc valable quelle que soit la paire de courbes reliées par une relation du même type que celle de la proposition de Barrow. L'Hospital ne manque pas de le souligner, toujours sans citer Barrow, même si Byzance note en marge « Barrow, lect. x, prop. 1 » :

> Cette remarque nous fournit un moyen très facile de déterminer les tangentes d'une infinité de lignes courbes car soit une ligne courbe quelconque ADE (dont je suppose que l'on sache mener les tangentes) et soit une de ses portions quelconques AD = x, et que l'on décrive une autre quelconque AMO en sorte néanmoins que l'on puisse exprimer le rapport de DM, que j'appelle y à la portion AD de la première courbe par une égalité. Il ne faut pour déterminer les tangentes de cette dernière courbe AMO, qu'opérer sur cette égalité comme la méthode enseigne pour trouver la valeur de t [51].

Par l'expérience calculatoire et probablement à l'appui du diagramme, L'Hospital déduit, de l'égalité dont la traduction lui a permis une construction de la tangente à la cycloïde, le cas général de la proposition de Barrow. Il suffit, dit-il, d'« opérer sur cette égalité », c'est-à-dire d'opérer sur l'équation qui détermine la courbe génératrice [52]. Cette remarque est suivie d'autres trai-

51 - [L'Hospital], M2, *op. cit. in* n. 32, f. 34.

52 - Cette remarque est reprise plus loin : « Il est evident que l'on trouve toüjours par un raisonnnement semblable la valeur de t pourveu que l'on puisse exprimer par une egalité le rapport de la portion AD quelconque de la ligne courbe à la droite PM, et pourveu que l'on en sache mener les tangentes. » Voir [L'Hospital], M2, *op. cit. in* n. 32, f. 36.

tements de courbes définies par une relation à une autre courbe dont on connaît la tangente ; mais L'Hospital ne cherche pas à en établir une classification contrairement à Barrow [53]. En effet, ce dernier structure son traité sous forme de problèmes généraux qui se distinguent par le type de relation entre une courbe donnée, dont on connaît les tangentes, et une deuxième courbe [54]. Cependant, L'Hospital ne parvient pas encore à ce stade, à l'aide de son expérience calculatoire, à fournir une présentation de ce type.

Il y parviendra, comme en témoigne l'arrangement de son traité *Analyse des infiniment petits pour l'intelligence des lignes courbes*. En effet, il y structure la section II, dédiée à la recherche de tangentes, par problèmes-propositions les plus générales possibles et par généralité croissante [55]. La quasi-totalité de l'ensemble des sections est en réalité construit en suivant cette idée. En effet, comme dit plus haut, L'Hospital a reçu des cours de calcul différentiel et intégral par Jean Bernoulli dont il garde une trace manuscrite. Les principales applications que propose Bernoulli sont des recherches de tangentes de courbes mais qui sont particulières [56]. L'Hospital, en s'inspirant des critères de généralisation qu'il puise chez Barrow, généralise chacun de ces cas. Le calcul différentiel lui permet d'exprimer des relations analytiques

53 - Il traite successivement des exemples sans qu'il y ait réellement un critère qui permettrait d'ordonner ce traitement : « Soit par exemple $y^3 + x^3 + x^2y = y^2x - b^3 + b^2y - b^2x + bx^2 - by^2$ l'égalité qui exprime le rapport de DM à l'arc AD. » « Exemple 12e Soit la ligne courbe ADB, dont je suppose que l'on sache mener les tangentes, et soit une autre courbe AMO de telle nature qu'ayant mené une droite quelconque PDM parallèle à EB, la portion AD de la 1re ligne courbe soit à PM en raison donnée de *r* à *s*, il faut du point M mener la tangente MT. » « Exemple 14e Soit décrite dans le cercle ADG dont le rayon est AO et le centre O, la spirale AMO, telle qu'ayant men un rayon quelconque OD coupant la spirale en M, la circonférence entière ADGA soit à l'arc DGA, comme OD est à OM, et qu'il faille du point donné M mener la tangente MT. » Son prolongement : « Si l'on veut qu'une puissance quelconque de la circonférence ADGA soit à la même puissance que l'arc DGA comme la puissance du rayon OD. »

54 - Certaines courbes célèbres apparaissent comme des cas particuliers de ces propositions générales De la même façon que la cycloïde apparaît comme un cas particulier de la proposition 1 de la leçon X, la conchoïde l'est de la proposition 12 de la leçon VIII, la spirale de la proposition 7 de la leçon X et la quadratrice de Dinostrate de la proposition 10 de la leçon X.

55 - C'est-à-dire que dans certains cas un problème énoncé peut éventuellement relever d'un problème énoncé ultérieurement.

56 - Jean Bernoulli traite la parabole simple et les paraboloïdes, l'ellipse, l'hyperbole, la logarithmique, la cycloïde, la conchoïde, la cissoïde, la quadratrice de Dinostrate et la spirale d'Archimède.

générales représentant un type général de courbe et de traiter celles-ci [57].

Dans ce qui suit, nous examinons la manière dont le cercle de Malebranche s'est approprié le calcul intégral.

Carrer les espaces : les indivisibles étiquetés

Le manuscrit du fonds latin 17860, f. 91-240, est une copie partielle à plusieurs mains [58] des leçons de calcul intégral de Jean Bernoulli telles qu'elles ont été publiées en 1742 avec son accord [59]. Cette copie est donc proche de la première version des leçons, elle porte également la marque des remarques orales du professeur. À partir de cette copie, Malebranche a écrit quatre cahiers [60] de 36 pages où il reprend les leçons *De methodo integralium* de Jean Bernoulli. L'hypothèse de Costabel est que Malebranche aurait travaillé à partir de la copie de Carré ci-dessus mentionnée même s'il ne reprend pas la totalité des leçons bernoulliennes. D'après nous cette hypothèse n'est pas entièrement avérée. En effet, il existe des passages en latin dans les cahiers de Malebranche qui n'ont pas de correspondance dans le texte de la copie Carré et qui pourtant apparaissent dans l'imprimé de Bernoulli. Dans tous les cas, ce cahier est un témoignage éminent de l'appropriation du calcul intégral par le cercle de Male-

57 - Ce type de traduction n'est pas de son seul ressort. Comme le montre des *marginalia* présentes dans le manuscrit M2, les autres membres du cercle de Malebranche traduisent les notations barrowniennes en leibniziennes. Pour un développement de la manière dont cette généralité se construit chez L'Hospital, on pourra consulter Bella, *op. cit. in* n. 3, 289-297.

58 - Cette copie est pratiquement de la main de Carré sauf les titres des figures (f. 241-250) qui sont de la main de Malebranche, les f. 251-252 concernent des *errata* et sont de la main de Byzance.

59 - Pour l'étude de Pierre Costabel sur ce manuscrit et l'histoire de ses copies on pourra consulter « La copie parisienne des leçons de calcul intégral de Jean Bernoulli », *in* Malebranche, *op. cit. in* n. 15, 131-168. Le texte de Jean Bernoulli est publié dans ses *Opera omnia tam autea sparsim edita quam hactenus inedita, tomus tertius, accedunt Lectiones mathematicæ de calculo integralium in usum illust. marc. Hospitalii conscriptate* (Lausanne et Genève : Marc-Michel Bousquet, 1742). Une étude de prestige a été effectuée plus récemment par Claire Schwartz, *Malebranche : Mathématiques et philosophie* (Paris : Sorbonne Université Presses, 2019).

60 - Ce manuscrit est enregistré à la Bibliothèque nationale sous la cote fr. 24237, f. 60 à 95. Il a été en partie publié dans Malebranche, *op. cit. in* n. 15, 169-294. D'après Costabel, les trois premiers cahiers sont de la période 1692-1693 et le quatrième serait de la période 1693-1695 (*ibid.*, 175).

branche. En effet, d'une part, certaines pages n'ont pas de correspondance directe avec le texte de Bernoulli : elles proviendraient d'échanges avec L'Hospital. D'autre part, Malebranche a prévu une disposition particulière du cahier : les pages de droite sont réservées aux développements ou aux commentaires, les pages de gauche sont réservées aux corrections, annotations et compléments. Cette disposition montre qu'il souhaitait pouvoir revenir sur d'anciennes questions, comme en témoignent des ratures d'encres différentes. Costabel signale que certaines remarques ou corrections ont pu être apportées jusqu'en 1710. Ainsi, ce document doit être interprété historiquement comme un cahier à usage personnel [61].

Les premières pages des cahiers reprennent intégralement le cours de Bernoulli. Elles sont destinées à la formule générale d'intégration d'un monôme, c'est-à-dire à la formule « $\frac{a}{p+1}x^{p+1}$ est l'intégrale de $ax^p dx$ » (avec p rationnel [62]). Il s'agit ensuite de se ramener à ce cas en considérant ce que Bernoulli appelle une « absolue », qui anachroniquement relève aujourd'hui de ce que nous appelons un changement de variable. À titre d'exemple, quand il s'agit d'intégrer $dy\sqrt{a+y}$, Bernoulli remarque que dy est multiplié par son « absolue » qui est élevée à la puissance $\frac{1}{2}$, il vient

$$\frac{1}{\frac{1}{2}+1}(a+y)^{\frac{1}{2}+1}, \quad \text{c'est-à-dire} \quad \frac{2}{3}(a+y)\sqrt{a+y}.$$

Dans son cahier, Malebranche propose des exemples plus complexes [63].

61 - Malebranche, *op. cit. in* n. 15, 175-176.

62 - Bernoulli avait traité maladroitement le cas $p = -1$: « $\frac{dx}{x} = \frac{1}{0}x^0 = \frac{1}{0}x^1 = 0$ ». Malebranche l'évite. Dans la copie de Carré, Byzance rature le « 0 » et le remplace par « ∞ » et note que x^{1-1} est égal à 1, ms. BnF lat. 17860, f. 2.

63 - Il souhaite intégrer la différentielle $\frac{y\,dy}{\sqrt{b^2+y^2}}$ dont l'« absolue » est b^2+y^2. En se référant à la formule, il écrit $x = b^2+y^2$; $dx = 2y\,dy$, $p = \frac{-1}{2}$, $a = \frac{1}{2}$. Puis il substitue dans l'intégrale $\frac{a}{p+1}x^{p+1}$ et il trouve $\sqrt{b^2+y^2}$. Plus loin, il décrit minutieusement les étapes d'intégration de l'expression $\mathrm{A} = (x^7dx - \frac{7}{4}ax^6dx)(2ax^7 - x^8)^{\frac{-1}{2}}$ que Bernoulli lui n'a pas jugé utile de développer.

La partie *De spatiorum quadratura* correspond à l'application du calcul intégral aux quadratures et aux rectifications de courbes. L'hypothèse pour carrer des espaces est de les considérer

> divisés en parties infinies [*divisa in infinitas partes*] dont chacune est tenue pour une différentielle de l'espace [*differentiali spatii*], de sorte que si l'intégrale de telle différentielle, soit encore la somme de ces parties, est obtenue, de là la quadrature demandée devient connue [64].

Ces *infinitas partes* peuvent être considérées de différentes manières pour faciliter la quadrature [65]. Les divisions les plus communes sont celles effectuées par des « lignes parallèles » ou par des « lignes » qui concourent en un point [66]. Comme le montre la figure ci-dessous, d'autres types de divisions sont présentées : par des tangentes ou par des normales. Selon la forme ou l'engendrement de la figure, un type de division convient mieux qu'une autre [67].

Les méthodes usant d'indivisibles ou d'infinitésimaux – en particulier Pascal, Roberval, Barrow, Wallis – font indubitablement partie des connaissances de Malebranche et de son cercle. Déjà des années auparavant, un de leurs cours manuscrits atteste de l'usage d'« indivisibles » ou d'« éléments de l'aire » pour « former » une figure [68]. Cependant, dans les leçons bernoulliennes, les « indivisibles », c'est-à-dire les parties infiniment petites supposées composer un espace, sont désormais désignées par la locution « différentielles de l'espace » (*differentiali spatii*). Cette resémantisation n'est pas gratuite. L'espace apparaît toujours comme une « somme de ces parties » mais chacun des éléments géométriques qui le composent sont désormais dotés d'une étiquette : leur expression analytique

64 - *[...] divisa in infinitas partes quarum unaquæque pro differentiali spatii haberi potest, ita ut si integrale hujus differentialis, id est summa harum partium habeatur, ex inde quoque innotescat quadratura quæsita.* Voir Malebranche, *op. cit. in* n. 15, 201.

65 - *Partes istæ infinitæ in spatiis planis considerari possunt diversis modis prout commodissime permittunt omnes circonstantiæ planorum.* Malebranche, *op. cit. in* n. 15, 201.

66 - Ici, lorsque Bernoulli ou Malebranche écrivent « lignes », ils entendent des éléments homogènes et de même dimension que l'espace.

67 - La division par des lignes parallèles convient à la parabole alors qu'elle ne convient pas à la spirale. Inversement, la division par des lignes concourantes convient à la spirale et pas à la parabole.

68 - Ms. BnF fr. 24238, f. 251-252.

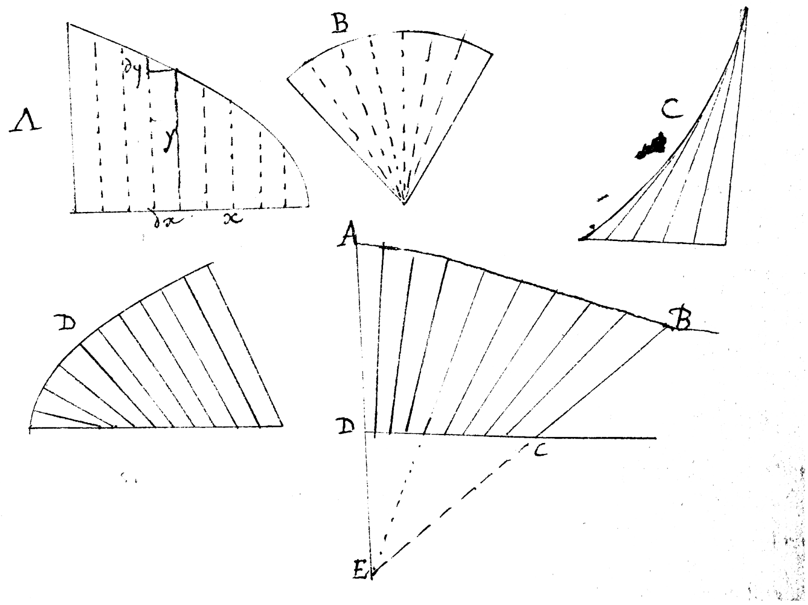


Figure 5
Ms. BnF fr. 24237, f. 68ʳ.

différentielle. Ainsi, une quadrature n'est plus que l'affaire d'un calcul appliqué à l'expression différentielle d'un élément de l'espace.

De quelle manière ces infinies divisions conduisent-elles à obtenir une quadrature par le calcul ? Chaque type de division a une traduction analytique. Si les divisions sont parallèles, en notant x l'abscisse et y l'appliquée, ydx est le rectangle entre les appliquées et la différentielle des abscisses. Si les divisions concourent en un point la différentielle de l'espace est $\frac{1}{2}ydx$ c'est-à-dire qu'elle correspond au triangle de côté y et de hauteur l'arc infiniment petit. L'élément différentiel est identifié à son expression analytique, accentuant le caractère calculatoire de la méthode. Bernoulli donne deux exemples que Malebranche reprend à la lettre. Le premier est celui de la parabole qui a pour équation $ax = yy$. L'espace est associé à l'expression différentielle

$ydx = dx\sqrt{ax}$ dont l'intégrale, c'est-à-dire la quadrature est $\frac{2}{3}x\sqrt{ax} = \frac{2}{3}xy$ [69].

Bien que le problème des quadratures des figures ait été ramené à l'intégration de différentielles, et que certaines soient intégrables directement par la règle générale « $\frac{a}{p+1}x^{p+1}$ est l'intégrale de $ax^p dx$ », d'autres ne s'y réduisent pas.

Ainsi, l'expression des différentielles de l'hyperbole ou du cercle ne sont pas réductibles à la formule générale. D'autres différentielles d'espace pâtissent de ce défaut. Cependant, certaines d'entre elles peuvent s'exprimer à l'aide des différentielles de l'espace hyperbolique ou circulaire, c'est-à-dire que leur espace peut être mesuré par une partie d'espace circulaire ou hyperbolique :

> Si, donc, la différentielle d'un espace peut être ramenée à l'une des formules, l'espace en question pourra être égal à un cercle, ainsi qu'à une hyperbole, ou à un segment de cercle, ainsi qu'à celui d'une hyperbole. Mais tous ces espaces dont la différentielle s'exprime par une quantité rationnelle multipliée ou divisée par l'appliquée du cercle ou de l'hyperbole, c'est-à-dire $\sqrt{aa - xx}$, ou $\sqrt{ax - xx}$, ou $\sqrt{aa + xx}$ ou $\sqrt{xx - aa}$, tous ces espaces, dis-je, peuvent se carrer à l'aide du cercle ou de l'hyperbole [70].

Il est donc important dans le calcul de l'intégrale d'une différentielle de repérer si son expression peut être écrite à l'aide des différentielles du cercle ou de l'hyperbole. Or, l'expression de celles-ci diffère selon le choix de coordonnées. Bernoulli prend soin de distinguer les différents cas ($\mathrm{BF} = x$, $\mathrm{AF} = x$, $\mathrm{HE} = x$ et $\mathrm{HI} = x$). Une seule page lui suffit pour les traiter entière-

69 - Le deuxième exemple illustre la configuration des divisions concourantes : Bernoulli choisit la spirale logarithmique caractérisée par la constance du rapport $\frac{dy}{dx} = \frac{a}{b}$. Ainsi, $\frac{1}{2}y\,dx = \frac{yb\,dy}{2a}$ dont l'intégrale est $\frac{by^2}{4a}$ qui est l'espace requis. Malebranche, *op. cit. in* n. 15, 204-205.

70 - Malebranche, *op. cit. in* n. 15, 211 : *Omnia autem ista spatia quorum differentiale exprimitur per quantitatem rationalem multiplicatam vel divisam per applicatam circuli vel hyperbolæ, id est per* $\sqrt{aa - xx}$, *vel per* $\sqrt{ax - xx}$, *vel* $\sqrt{aa + xx}$ *vel* $\sqrt{xx - aa}$. *Omnia inquam ista spatia aut quadrantur aut circulo vel hyperbolæ æquantur, quod ita fit.* (Traduction par l'auteure.)

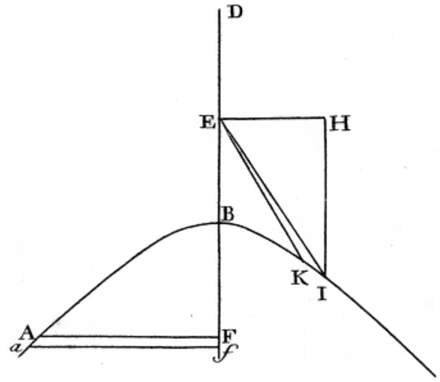


Figure 6
Bernoulli (1742), op. cit. in n. 59, planche LII, *fig. 10.*

ment[71] (pour le cercle ou pour l'hyperbole). En revanche, Malebranche apporte une attention particulière à développer chacun des exemples en explicitant l'expression de plusieurs grandeurs différentielles qui apparaissent dans la configuration du cercle ou de l'hyperbole. Ces traitements occupent six pages[72]. À titre d'exemple, il est intéressant de comparer chacun des traitements effectués par Bernoulli et par Malebranche pour présenter des éléments différentiels de l'hyperbole équilatère telle que BD $= 2a$ et lorsque BF $= x$. Bernoulli écrit que l'ordonnée AF $= \sqrt{2ax + xx}$ et que par conséquent l'espace différentiel AFfA est égal à $dx\sqrt{2ax + xx}$. Cela lui semble suffisant.

Malebranche prend le soin de présenter un tableau où il écrit dans la colonne de gauche la « différentielle » – c'est-à-dire l'expression d'une différentielle de l'espace – et dans la colonne de droite l'« intégrale » – c'est-à-dire l'expression de l'espace fini correspondant. Il démontre ensuite ces formules[73].

Les problèmes de figures à carrer sont désormais devenus des problèmes de différentielles à intégrer, c'est-à-dire une question

71 - Ms. BnF lat. 17860, f. 100 ; Malebranche, *op. cit. in* n. 15, 206 ; Bernoulli (1742), *op. cit. in* n. 59, 396.
72 - L'hyperbole est traitée deux fois, Malebranche, *op. cit. in* n. 15, 207 et 209, puis 243. Le cercle est traité au f. 21 du manuscrit (Malebranche, *op. cit. in* n. 15, 243-245.
73 - Malebranche, *op. cit. in* n. 15, 207 et 243.

purement calculatoire.

Une remarque s'impose à ce stade concernant la forme du polygone représentant la courbe. Il est clair que l'égalité des côtés n'est absolument pas requise pour appliquer la méthode des tangentes. Or, il a été vu que dans certaines circonstances cette contrainte est exigée pour des raisons d'ordre méthodologique. À titre d'exemple, pour estimer la quadrature du cercle, Archimède avait cerné le cercle par des polygones inscrits et circonscrits, en partant d'un hexagone régulier inscrit et d'un triangle équilatéral circonscrit. En procédant par doublement des côtés, il maîtrisait la valeur de l'aire obtenue à chaque étape. Aussi, dans de nombreuses méthodes de quadrature, l'égalité des divisions, cette fois-ci sur l'axe de la courbe, fait partie des hypothèses énoncées. Par exemple, dans un appendice de la leçon XI, Barrow justifie le fait de considérer une courbe comme assemblage de segments infiniment petits déterminés par des divisions égales sur l'axe de la courbe [74]. L'aire de la courbe apparaît comme un espace *gradiforme*, somme de ces rectangles de largeur indéfiniment petite. Cette hypothèse facilite la justification du bien-fondé de la méthode comme le montre l'exemple de Barrow. En effet, il montre que la différence entre la figure circonscrite formée de rectangles et celle inscrite, toutes les deux constituées de rectangles, peut être rendue aussi petite que n'importe quelle quantité. En effet, la différence entre ces deux figures est une somme de petits rectangles de même largeur qui assemblés forme un autre rectangle de même largeur. Maîtrisant la longueur des divisions égales, il lui est donc possible de démontrer que la différence entre la figure circonscrite en inscrite peut être rendue aussi petite que souhaitée. Le choix de divisions égales facilitant la justification de l'usage d'un espace gradiforme apparaît chez des géomètres antérieurs, par exemple chez Roberval et chez Torricelli.

Plus tard, cette supposition n'est plus exigée. À titre d'exemple, pour obtenir une quadrature du cercle en termes de somme infinie de nombres rationnels, Leibniz invente une méthode de construction d'un polygone sans que l'égalité ni des côtés du polygone, ni des divisions égales sur l'axe soit nécessaire. En cela

74 - Barrow, *op. cit. in* n. 24, 85-86.

sa méthode est plus générale que la plupart des exemples de ses contemporains [75].

Cette indétermination au niveau de la forme du polygone est l'atout sur lequel mise Pierre Varignon pour obtenir une formule générale du rayon de courbure. Nous allons l'examiner.

« Cela est renfermé dans l'idée même de courbure »

C'est ainsi que dès 1690, Malebranche exprimait l'idée selon laquelle les angles formés par les petits côtés du polygone infinitangulaire rendait compte de la plus ou moins grande courbure. En 1696, la deuxième demande de l'*Analyse des infiniment petits* apporte une précision supplémentaire : les côtés du « poligône » forment des angles qui « déterminent » la courbure de la courbe. Bien que l'idée d'angle entre côtés infiniment petits soit intuitivement séduisante, de quelle manière les « angles des côtés infiniment petits » permettent de « déterminer », c'est-à-dire – ce que le calcul leibnizien ambitionne – exprimer analytiquement la courbure ?

Comme on l'a vu *supra,* la figure rectiligne du polygone infinitangulaire a été l'instrument essentiel pour déterminer analytiquement la tangente, et ce de manière générale. Mais, il apparaît que la courbure ne saurait se mesurer directement par la seule considération d'un côté rectiligne d'un polygone. En revanche, elle se mesure naturellement par la figure du cercle car seul le

75 - Gottfried Wilhelm Leibniz, *Quadrature arithmétique du cercle, de l'ellipse et de l'hyperbole et la trigonométrie sans tables trigonométriques qui en est le corollaire*, introd., trad. et notes de Marc Parmentier, texte latin éd. par Eberhard Knobloch (Paris : Vrin, 2004). Pour une analyse de ce texte, on pourra consulter David Rabouin, Leibniz's rigorous foundations of the Method of indivisibles or how to reason with impossible notions, *in* Vincent Jullien (dir.), *Seventeenth-century indivisibles revisited* (Springer, 2015), 347-364. Dans son étude sur le calcul différentiel de Leibniz, Henk Bos explique, par exemple, que seul dans le cas où l'abscisse curviligne a une différentielle constante et en supposant un nombre fini très grand de côtés, il serait possible de penser le polygone avec ses côtés de même longueur mais rien ne dit que cette propriété subsiste pour le polygone infinitangulaire : *This means that the concept of « infinitangular polygon » involves an indeterminacy.* Henk J. M. Bos, The fundamental concepts of the Leibnizian calculus, *in idem*, *Lectures in the history of mathematics* (Providence, R. I. : American Mathematical Society, 1993).

cercle est la figure ayant une courbure constante. Leibniz en fait le constat publiquement en juin 1686 [76]. Pour étudier « les variations de la direction, autrement dit, sa courbure », il explique qu'il faut prendre parmi les cercles tangents en un point celui qui va « embrasser » (*osculari*) le mieux la courbe en ce point. Il le nomme cercle osculateur. Mais comment déterminer le rayon de ce cercle ?

La recherche du rayon du cercle osculateur est historiquement et épistémologiquement liée à celle de la développée d'une courbe. Pour rappel, en 1673 Christiaan Huygens (1629-1695) introduit le concept de développée dans son ouvrage *Horologium oscillatorium* [77]. Pour introduire les notions de développée (*evoluta*) et de développante (*linea ex evolutione descripta*), Huygens considère une courbe ABC courbée vers un seul côté [*in unam partem cavæ*] et entourée d'un fil (fig. 7). En déroulant ce fil et en le maintenant tendu par l'une des extrémités fixe [C], c'est-à-dire tangent à la courbe, l'autre extrémité A décrit une courbe ADE. ABC appelée la développée et ADE une développante. Les segments successifs BD, CE, ... sont appelés les rayons de la développée [78].

Lorsque le fil se meut tangentiellement d'un mouvement infiniment petit, il engendre une portion infinitésimale de cercle, portion qui est quasi confondue avec la développante (fig. 7). Ainsi, la génération de la développante montre que la développée est le lieu des centres des cercles osculateurs et que les rayons de la développée correspondent aux rayons des cercles osculateurs.

De la sorte, la développante peut être regardée comme un assemblage d'arcs de cercles infiniment petits correspondant

76 - Gottfried Wilhelm Leibniz, Meditatio nova de natura anguli contactus et osculi, horumque usu in practica mathesi, ad figuras faciliores succedaneas difficilioribus substituendas, *Acta eruditorum*, 5 (1686), 289-292. Entre 1681 et 1686, Leibniz effectue des recherches sur la notion d'angle de contact et d'angle entre deux courbes, comme en attestent principalement trois manuscrits : *De angulis linearum plane nova* (Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek – Niedersächsische Landesbibliothek, ms. LH 35, 1, 19, f. 1-2), *De angulo contactus et curvedine et de natura quantitatis* (*ibid.*, f. 7-8), *De angulis curvarum* (*ibid.*, f. 3-6). Une présentation de ces manuscrits ainsi que leur traduction se trouvent à l'adresse suivante : https://eman-archives.org/philiumm/angles-of-contact (consulté le 31 décembre 2024).

77 - Christiaan Huygens, *Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometricæ* (Paris : François Muguet, 1673).

78 - Huygens, *op. cit. in* n. 77, 59.

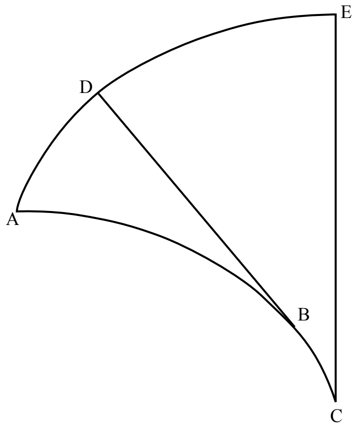


Figure 7
Huygens, op. cit. in n. 77, 59.

aux cercles osculateurs « successifs », ses normales étant les tangentes de sa développée. Ainsi, toute courbe peut être considérée comme un polygone formé d'une infinité d'arcs de cercles infiniment petits correspondant au développement des côtés d'un polygone infinilatère représentant sa développée. Ce résultat est institué par L'Hospital dans son traité [79].

En 1694, Jacques Bernoulli est le premier à publier une expression analytique du rayon de courbure, il la fournit en six versions, trois en coordonnées cartésiennes puis trois lorsque les ordonnées « concourent en un point commun » – et chacune en considérant une des trois différentielles constante. Il ne démontre que les trois premières [80].

Sa démonstration nécessite un diagramme dans lequel il repré-

79 - Résultat que l'on retrouve dans L'Hospital, *op. cit. in* n. 20, 71-72.

80 - Jacques Bernoulli, Curvatura laminæ elasticæ. Ejus identitas cum curvatura lintei a pondere inclusi fluidi expansi. Radii circulorum osculantium in terminis simplicissimis exhibiti, una cum novis quibusdam theorematis huc pertinentibus, *Acta eruditorum*, 13 (1694), 262-276. Pour les formules en coordonnées cartésiennes, il obtient, selon le choix de différentielle constante et appelant r le rayon de courbure, $r = \frac{dx\,ds}{ddy}$ $(dds = 0)$, $r = \frac{ds^3}{dx\,ddy}$ $(ddx = 0)$ et $r = \frac{ds^3}{dy\,ddx}$ $(ddy = 0)$.

sente les différentielles secondes [81]. En fait, pour faciliter la représentation des différentielles secondes, les auteurs supposent que l'une des trois différentielles est constante, c'est-à-dire que l'une des trois différentielles secondes est nulle. Dans son traité, L'Hospital expose les trois cas [82] : ddx, ddy ou dds nulle. D'abord, dans la première section de son traité, après avoir défini le terme « différence » ou différentielle comme portion infiniment petite dont une quantité variable augmente ou diminue continuellement [83] », il avait pris soin de fournir les constructions géométriques – à la règle et au compas – de différentielles impliquées dans l'étude d'une courbe [84]. Pour représenter les différentielles secondes, il considère trois points infiniment proches M, *m* et *n*. H est l'intersection de la droite *n*S, parallèle à *m*R, et *k* est l'intersection de M*m* et de l'arc de centre *m* et de rayon *mn*. La droite *nl* est parallèle à *m*S, *li* et *kcg* sont parallèles à S*n*. La différentielle de l'abscisse est dx = MR ou *m*S, celle de l'ordonnée est dy = *m*R ou *n*S, et celle de l'arc est du = M*m* ou *mn*. Si par exemple la variable dx est constante (fig. 8) alors MR = *m*S et les triangles MR*m* et *m*SH ne sont pas seulement semblables mais isométriques, de sorte que la différence seconde des ordonnées est marquée par le segment H*n* (puisque H*n* = R*m*−S*n*) et celle de l'arc *ddu* par H*k* (puisque H*k* = H*m* − M*m*). Les deux autres marquages sont obtenus par une démarche similaire, c'est-à-dire par la considération de deux triangles qui non seulement sont semblables mais isométriques par la supposition d'une différentielle constante.

Quelques mois après la publication de Jacques Bernoulli, en novembre 1694, Varignon lit à l'Académie un mémoire dans lequel

81 - L'Hospital définit les différences secondes en imitant la définition de la différentielle : « La portion infiniment petite dont la différence d'une quantité variable augmente ou diminuë continuellement, est appellée la *différence de la différence*, ou bien sa *différence seconde.* » L'Hospital, *op. cit. in* n. 20, 55.

82 - L'Hospital, *op. cit. in* n. 20, 57-58, 78-79.

83 - L'Hospital, *op. cit. in* n. 20, 2.

84 - Pour cela, il considère une courbe AMB d'axe AC, M et *m* sont des points infiniment proches. AP = x ; PM = y ; l'arc AM = s. Par exemple, il trace une perpendiculaire à PM passant par M qui coupe *pm* en R : R*m* figure la différence des ordonnées dy alors que P*p* figure la différence des abscisses dx et M*m* représente la différence curviligne *ds*. De même, en traçant un « petit » arc de cercle de centre A (et de rayon AM) qui coupe A*m* en S, il figure la différence S*m* de AM. D'autres lectures sont possibles : le « triangle » MA*m* de base l'arc M*m* est la différence du l'espace curviligne AM et MP*pm* est la différence de l'espace mixtiligne compris entre les droites AP, PM, et l'arc AM.

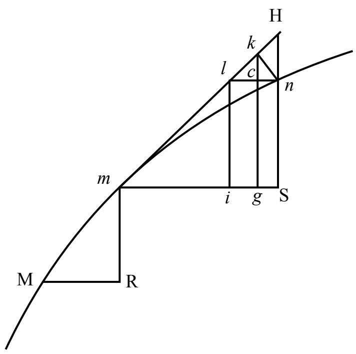


Figure 8

Marquage des différences secondes lorsque dx est constant, L'Hospital, op. cit. in n. 20, planche 4, fig. 48.

il fournit et démontre d'une nouvelle manière les formules obtenues par Jacques Bernoulli [85]. D'après Varignon, le mathématicien suisse ne procède pas par généralité car il a fourni trois formules en coordonnées cartésiennes alors que, d'après lui, ces cas ne sont que des corollaires des autres lorsque « ces ordonnées concourent en un même point ». Son exigence de généralité ne s'arrête pas ici. Entre 1701 et 1706, en lien avec ses recherches sur l'estimation des forces centrales [86], il dirige ses efforts dans ce sens : il souhaite obtenir des expressions analytiques très générales des rayons de courbure dont celles énoncées précédem-

85 - Pierre Varignon, « Démonstration de six manières différentes de trouver les rayons des développées, lors même que les ordonnées des courbes qu'elles engendrent, concourent en quelque point que ce soit et par conséquent aussi pour le cas où elles sont parallèles », archives de l'Académie des sciences, pochette de séance du 27 novembre 1694. Varignon publie des mémoires portant sur les développées jusqu'en 1716, année où il publie un essai complet à ce sujet. Cet essai ne comporte aucun développement calculatoire.

86 - Dans le mémoire de 1701, il fournit quatre démonstrations concernant les forces centrales qui montrent qu'elles se comportent comme l'inverse des rayons des développées

ment seraient encore des cas particuliers [87]. Cet exposé le conduit à un développement concernant exclusivement la détermination « infiniment generale » des rayons osculateurs indépendamment de la considération des forces centrales. Il explique que les différentes formules des rayons des développées qu'il a fournies antérieurement, bien que générales, se déduiront de celles qu'il va proposer puisque, dans ces dernières, il ne suppose aucune différentielle constante, et c'est en cela qu'elles ne sont pas seulement « generales » mais « infiniment generales [88]. »

Dans la suite, nous présentons les principales étapes de sa démonstration.

Varignon considère une courbe DABC – considérée comme polygone infinilatère – dont les ordonnées infiniment proches EA, EB et EC concourent en E (fig. 9). Le prolongement du petit côté AB est supposé être la « tangente » BR qui coupe EC en S. L'arc de centre E et de rayon EA coupe BE en G, celui de rayon EB coupe EC en H. Le point P est construit sur le segment HS de sorte que $\widehat{SBP} = \widehat{SEB}$. Le point N est l'intersection de l'arc CM de centre B et de rayon BC et du segment BP. Varignon choisit un point K arbitraire sur l'arc BH duquel il tire une parallèle KL à SE qui rencontre BP en L. Notons qu'à ce stade, le polygone représentant la courbe a une forme complètement indéterminée puisqu'absolument rien n'est supposé être constant.

Ces constructions aboutissent à trois paires de triangles semblables ABG, BPH et BLK, seuls les deux premiers sont fixes. Enfin, il considère deux rayons BV et CV de la développée de la courbe.

87 - Pierre Varignon, Autre regle generale des forces centrales. Avec une maniere d'en déduire & d'en trouver une infinité d'autres à la fois, dépendemment & indépendemment des rayons osculateurs qu'on va aussi trouver d'une maniere infiniment generale, *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1701, Mémoires, 20-38 ; Pierre Varignon, Differentes manieres infiniment generales de trouver les rayons osculateurs de toutes sortes de courbes, soit qu'on regarde ces courbes sous la forme de polygones, ou non, *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1706, Mémoires, 490-506. Nous analyserons le premier de ces deux mémoires.

88 - « [...] en voici un [moyen] qui outre ces expressions, quelques generales qu'elles soient, peut en fournir encore une infinité d'autres tout aussi générales, même dans une seule, laquelle se diversifiera en toutes celles-là, selon la variété infinie de tout ce qu'on y pourra supposer de constant, & qui pour cela se peut appeler *infiniment generale.* » Varignon (1701), *op. cit. in* n. 87, 25.

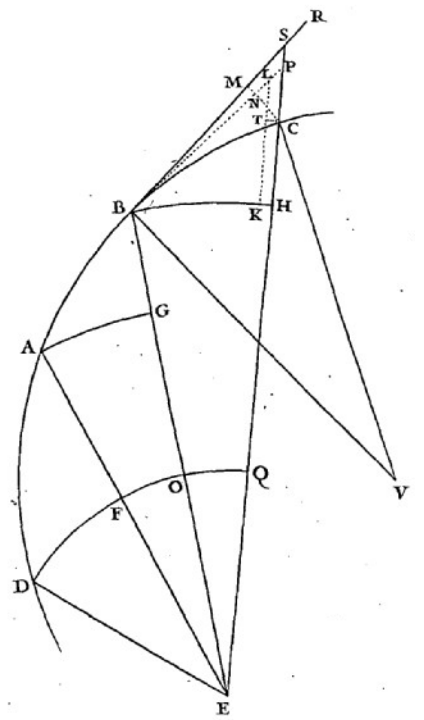


Figure 9
Varignon, op. cit. in n. 87, p. 38, planche IV, fig. 5.

Il note par y, AE ou BE ou CE, AG ou BH par dx, AB ou BC par ds et BV ou CV par n.

Comme K peut être choisi à discrétion, il suppose par la suite que BK = AG de sorte que les triangles ABG et BLK sont non seulement semblables mais isométriques. Cette astucieuse construction géométrique – plus générale que celle précédemment vue chez L'Hospital – est l'idée-clef pour obtenir la généralité des formules recherchée. En effet, elle permet de représenter au signe près les différentielles dds et ddx par respectivement les segments NL et HK et d'obtenir une expression de NP. De cette expression et de la considération de la similitude de PNC et PHB [89] puis de celle de BEH et MBN, il déduit respectivement les expressions de NP, NC et enfin celle de MC.

En observant que « les deux rayons BV & CV de la developpée de la courbe DABC, & l'arc MC décrit du centre B, rendant aussi les triangles BVC & MBC semblables », il obtient à partir de l'expression de MC celle du rayon de la développée

$$\mathrm{CV} = n = \frac{y\,dy\,ds^2}{dx\,dy\,ds + y\,ds\,ddx - y\,dx\,dds}$$

dans laquelle aucune des différentielles n'est supposée constante. En utilisant la relation $ds\,dds = dx\,ddx + dy\,ddy$, il obtient deux autres expressions :

$$\mathrm{CV} = n = \frac{y\,dx\,ds^2}{ds\,dx^2 + y\,dy\,dds - y\,ds\,ddy}$$

et

$$\mathrm{CV} = n = \frac{yds^3}{dx\,ds^2 + y\,dy\,ddx - y\,dx\,ddy}.$$

Varignon prouve que les formules publiées par Jacques Bernoulli en 1694 et celles de L'Hospital en 1696 peuvent être déduites de celles-ci. Mais il ne s'arrête pas là : il suppose ensuite que

89 - À une différentielle d'ordre deux près, les triangles PNC et PHB sont considérés isocèles avec un même angle au sommet.

l'espace BEC ($\frac{y\,dx}{2}$) est constant et trouve encore une autre formule pour le rayon de courbure. Ce dernier exemple d'apparence anecdotique lui permet de conclure que ses formules sont infiniment générales. Elles permettent non seulement de déduire celles dans lesquelles l'une des différentielles est constante, mais « suivant ce qu'on y supposera constant de tout ce que les valeurs arbitraires des exposants m, n, p, q, r, peuvent faire trouver des termes dans $y^m s^n dx^p dy^q ds^r$ », c'est-à-dire selon n'importe quelle combinaison de ces termes.

Dans son mémoire de 1706, il retrouvera les mêmes formules en considérant la courbe non pas comme un polygone rectiligne mais comme un assemblage d'arcs de cercles comme le suggère la génération de la courbe vue comme une développante.

Conclusion

Pour légitimer le calcul différentiel, les membres du cercle de Malebranche soutiennent que la notion de polygone infinitangulaire se trouvait déjà chez les Anciens : les polygones inscrits / circonscrits « par la multiplication infinie de leurs côtés, se confondent » avec la courbe. De « tout temps » ces polygones auraient été pris pour les courbes elles-mêmes [90]. Dans son *Analyse démontrée*, Charles Reyneau soutient que la seule différence entre les Anciens et les contemporains est que les premiers manquaient « d'expressions convenables [91] », le calcul différentiel pallierait cette insuffisance. Ces arguments peuvent apparaître rhétoriques : le concept de « polygone à une infinité de côtés » parce qu'affilié à la pratique des Anciens, apparaît dans une continuité d'usage au sein du calcul différentiel ; c'est ainsi que ce dernier serait fondé. Néanmoins, nous avons vu que Leibniz souligne l'équivalence entre une courbe et un polygone d'une infinité de côtés. Il nous semble qu'à travers la pratique du cercle de Malebranche, il a été montré que son propos signifie bien plus que d'approcher une courbe par des polygones. La figure du polygone infinitangulaire est plus qu'un simple

90 - L'Hospital, *op. cit. in* n. 20, préface.

91 - Charles Reyneau, *Analyse démontrée, ou la méthode de résoudre les problèmes des mathématiques et d'apprendre facilement ces sciences*, 2 t. (Paris : Jacque Quillau, 1708), t. 2 : *Usage de l'analyse*, préface, XIII.

outil intermédiaire utilisé de-ci de-là dans certaines étapes démonstratives. Parce que le calcul différentiel permet l'indétermination de sa forme, la figure du polygone infinitangulaire d'outil devient le pilier de l'analyse infinitésimale. L'Hospital en fait l'une des deux suppositions de l'*Analyse des infiniment petits pour l'intelligence des lignes courbes* : la considération du polygone permet entre autres le calcul des tangentes et celui de la courbure en vertu des angles que les côtés font entre eux.

Dans certains de ses articles dans l'*Histoire de l'Académie royale des sciences*, Bernard Bouvier de Fontenelle (1657-1757) vante l'analyse infinitésimale qui considère la courbe comme un polygone d'une infinité de côtés. Sans cette considération, la courbe est « intraitable [92] » par la géométrie ordinaire. En 1722, dans son article intitulé « Sur les courbes considérées exactement comme courbes, ou comme poligones infinis », Fontenelle compare deux conceptions de la courbe, celle où la courbe est « rigoureuse » et « vraie », mais « intraitable », et celle où la courbe est traitée dans « l'hypothèse des courbes polygones ». Il avance que cette dernière manière peut sembler n'être qu'une « fiction commode » mais qu'elle n'est finalement que « ce vrai, quand on la considère de plus près. On croyait qu'elle approchait infiniment du vrai, et il se trouve que le vrai ne doit pas aller plus loin [93]. » Le postulat de L'Hospital n'est plus à ses yeux un postulat : c'est une définition réelle.

Dans l'*Encyclopédie*, d'Alembert définit la « courbe » comme étant « une ligne menée d'un point à un autre, & qui n'est pas la plus courte ». Il n'est pas satisfait de cette définition à cause de son caractère négatif, et il remarque qu'elle convient également à un assemblage de segments aux angles obtus. Il ajoute qu'une courbe peut être regardée comme « l'assemblage d'une infinité de petites lignes droites contigues entr'elles à angles infiniment obtus [94] », et il renvoie à l'article « Courbe polygone » en usant

92 - Bernard Bouvier de Fontenelle, Sur la rectification des courbes, *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1701, Géométrie, 84.

93 - Bernard Bouvier de Fontenelle, Sur les courbes considérées exactement comme courbes, ou comme poligones infinis, *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1722, Géométrie, 77.

94 - Denis Diderot et Jean Le Rond d'Alembert (dir.), *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* (Paris, 1751-1772), article « Courbe », vol. 4, 377b-387a.

implicitement des termes de Fontenelle :

> [...] une courbe considérée non comme rigoureusement courbe, mais comme un polygone d'une infinité de côtés. C'est ainsi que dans la géométrie de l'infini l'on considere les courbes ; ce qui ne signifie autre chose, rigoureusement parlant, sinon qu'une courbe est la limite des polygones, tant inscrits que circonscrits [95].

Il nous semble que cette citation permet de conclure notre contribution : le concept de « polygone infinitangulaire » est désormais institué. En témoigne, il nous semble, d'être parmi les notions qui méritent d'être définies dans l'*Encyclopédie*.

95 - Diderot et d'Alembert (dir.), *op. cit. in* n. 94, article « Courbe polygone », vol. 4, 387a-389b. Comme le souligne Bos, Leibniz ne pense pas la transition entre le polygone fini et la courbe dans un processus de limite, car dans ce cas les côtés et les angles du polygone disparaîtraient complètement. Il pense plutôt cette transition comme une « extrapolation » du cas fini au cas infini. Bos, *op. cit. in* n. 75, 87.

Malebranche et l'intuitionnisme mathématique

Claire Schwartz *

Résumé : L'intuitionnisme et le formalisme sont des catégories qualifiant des philosophies des mathématiques qui ont été tout particulièrement employées lors de la « crise des fondements », et attribuées respectivement à L. Brouwer et à D. Hilbert. Elles ont pu toutefois servir également à établir des classifications et des oppositions entre systèmes philosophiques au cours de l'histoire à l'aune des pratiques mathématiques de leurs auteurs. Dans ce cadre, Descartes est régulièrement qualifié d'intuitionniste, notamment et dans des sens différents par Y. Belaval et J. Vuillemin, tandis que Leibniz se rattacherait à une tradition formaliste. La pratique malebranchiste des mathématiques est de ce point de vue singulière : fidèle à la tradition algébriste initiée par Descartes fondée sur une forme d'intuition, Malebranche promeut à partir des années 1690 le calcul infinitésimal leibnizien dont la certitude semble devoir reposer sur la validité d'un certain formalisme. Nous proposons d'analyser dans quelle mesure la catégorie d'intuitionnisme demeure opératoire pour qualifier la philosophie mathématique de Malebranche et sa cohérence, et ce qu'elle pourrait nous apprendre de sa conception de la vérité.

Mots-clés : Malebranche ; Descartes ; Leibniz ; Belaval ; Vuillemin ; intuitionnisme ; formalisme ; calcul infinitésimal.

Summary: *Intuitionism and formalism are categories used to qualify philosophies of mathematics that were particularly prominent during the "foundational crisis," and are attributed to L. Brouwer and D. Hilbert respectively. However, they have also served to establish classifications and contrasts between philosophical systems throughout history, based on the mathematical practices of the different authors. In this context, Descartes is regularly described as an intuitionist, notably, although in different ways, by Y. Belaval and by J. Vuillemin, while Leibniz is said to belong to a formalist tradition. The Malebranchian practice of mathematics is unique from this point of view: faithful to the algebraic tradition initiated by Descartes and based on a form of intuition, Malebranche promoted Leibniz's infinitesimal calculus from the 1690s onwards, the certainty of which seems to rest on the validity of a certain formalism. In this paper, we analyze the extent*

* Claire Schwartz, institut de recherches philosophiques (IRePh), université Paris-Nanterre, 200, av. de la République, 92 000 Nanterre. Email : cschwartz@parisnanterre.fr.

to which the category of intuitionism remains operative in characterizing Malebranche's mathematical philosophy and its coherence, as well as what it might teach us about his conception of truth.

Keywords: *Malebranche; Descartes; Leibniz; Belaval; Vuillemin; intuitionism; formalism; calculus.*

Dans son ouvrage *Leibniz critique de Descartes*, Yvon Belaval (1908-1988) avait entrepris de confronter les thèses et principes de ces deux auteurs à l'aune d'une opposition entre deux catégories, celles d'intuitionnisme et de formalisme, respectivement attribuées à la philosophie cartésienne et à la philosophie leibnizienne [1]. C'est dans le choix des méthodes mathématiques que cette opposition se manifesterait au grand jour. Le recours à certaines opérations qui mèneront Leibniz à l'invention du calcul différentiel illustrerait tout particulièrement ce choix de méthodes. Or il y a tout lieu de situer la pratique malebranchiste des mathématiques à l'intersection des programmes cartésiens et leibniziens de résolution des problèmes mathématiques.

Malebranche fut successivement et simultanément le promoteur de l'algèbre cartésienne et du calcul infinitésimal. Par ailleurs, son adhésion à l'algorithme leibnizien intervient relativement tard dans la constitution de sa pensée philosophique, à une période où la plupart de ses concepts ont été formulés et stabilisés. Faut-il alors en conclure à une incohérence de ses choix mathématiques qui reposeraient sur des principes épistémiques et méthodologiques incompatibles, notamment dans le statut qu'il s'agit d'accorder à l'infini mathématique ?

Envisager la pratique mathématique de l'oratorien à l'aune d'une certaine définition de l'intuitionnisme mathématique pourrait constituer une voie privilégiée pour reconstituer sa logique interne et sa singularité, et la situer par rapport à celles de Descartes et de Leibniz qui l'ont manifestement informée.

1 - Yvon Belaval, *Leibniz critique de Descartes* (Paris, Gallimard, 1960).

Les mathématiques malebranchistes, à l'intersection des mathématiques cartésiennes et leibniziennes

L'histoire d'une pratique

Il y a lieu de penser que le rapport de Malebranche aux mathématiques, du fait de sa biographie intellectuelle et des questions auxquelles il s'est intéressé, doive essentiellement se comprendre à l'aune de deux pôles majeurs, les écrits mathématiques et méthodologiques cartésiens d'une part, et les inventions leibniziennes, d'autre part, et tout particulièrement l'analyse infinitésimale que Malebranche a découvert et promu sous sa forme leibnizienne au cours des années 1690. Le cas malebranchiste constitue de ce fait une configuration très singulière en histoire de la philosophie et en histoire des mathématiques. Il est en effet assez rare de voir un philosophe, dont l'œuvre et la pensée étaient déjà arrivées à maturité, se livrer à un effort d'intégration de concepts et de méthodes de résolution mathématiques tout à fait nouveaux et, qui plus est, possiblement en rupture avec ceux auxquels il s'était fié jusque-là. Certes, certains mathématiciens comme Christiaan Huygens (1629-1695) en particulier, en vinrent à surmonter leurs résistances à l'égard du nouveau calcul promu par Leibniz en constatant sa capacité à résoudre des problèmes déjà existants de géométrie tandis que d'autres comme Michel Rolle (1652-1719) restèrent fidèles aux méthodes algébriques et à une mathématique du fini héritées de Descartes [2]. La question se posait toutefois en termes différents dans le cas de Malebranche : ses premières conceptions mathématiques étaient associées à une théorie des idées et de la vérité qui n'en émanait pas directement, conceptions qui ne pouvaient donc être amendées par des développements purement techniques de la nouvelle analyse.

Cette singularité, toutefois, n'en serait véritablement une que

2 - Comme l'a exposé Fabien Chareix dans *La Philosophie naturelle de Christiaan Huygens* (Paris : Vrin, 2006), Huygens fait bien reposer les résultats obtenus en philosophie naturelle sur de véritables principes. Il n'en va pas nécessairement de même dans sa pratique des mathématiques qui demeurent pensées comme un instrument au service de problèmes physiques préexistants et dont l'intelligibilité peut se mesurer à l'aune de cette exigence.

sous deux conditions : qu'il y ait, d'une part, des différences insurmontables entre les pratiques cartésienne et leibnizienne de résolutions des problèmes mathématiques, et, d'autre part, que la pratique malebranchiste se doive d'être comprise comme à leur intersection.

Pour ce qui concerne le deuxième point, il faut se tourner vers l'histoire des écrits mathématiques de Malebranche. Une brève mention au sein des archives de la congrégation nous informe que ce dernier est entré à l'Oratoire de Paris pour y enseigner les mathématiques [3]. Nous ne savons pas exactement quel fut le contenu de ses cours qui devaient très certainement s'apparenter à des « éléments de mathématiques » à l'adresse d'un public non spécialiste. De tels éléments pouvait toutefois prendre plusieurs formes à cette période, et nous pouvons nous faire une idée de ceux qui devaient avoir la faveur du jeune Malebranche en considérant les *Éléments des mathématiques, ou principes généraux de toutes les sciences qui ont les grandeurs pour objet* publié en 1675 par son élève Jean Prestet [4] (1648-1690). L'ouvrage constitue un manuel avancé d'algèbre cartésienne dénué d'application à la géométrie et de quelconques méthodes infinitistes. L'algèbre y est en effet présentée comme la science dont toutes les autres dépendent [5]. Après avoir rappelé les règles des opérations arithmétiques et la forme des équations en notations cartésiennes, l'ouvrage se termine par les résolutions d'équations jusqu'au quatrième degré, renvoyant à « la règle que Monsieur Descartes a donnée pour la résoudre » et qui peut

3 - « P. Nicolas Malebranche de Paris, reçu en l'Institution de Paris le 20 janvier 1660, prêtre le 20 sept. 1664. Destiné pour enseigner les mathématiques céans… », 19 mars 1674, Archives nationales, MM598, fol. 64 ; Nicolas Malebranche, *Œuvres complètes*, dir. André Robinet (Paris : Vrin, 1958-1990), t. XVIII, 80.

4 - Sur les liens entre Malebranche et Prestet et sur le contexte d'écriture des *Éléments des mathématiques*, cf. André Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences : L'œuvre scientifique* (Paris : Vrin, 1970), 22-45 et *id.*, Jean Prestet ou la bonne foi cartésienne (1648-1691), *Revue d'histoire des sciences*, 13 (1960), 95-104.

5 - « Ainsi ces Éléments apprenant à faire toutes les comparaisons nécessaires pour connaître avec évidence les rapports exacts qui sont entre les nombres, il est évident qu'ils sont le principe et le fondement de toutes les sciences exactes. Mais quoi que l'arithmétique soit une science dont toutes les autres dépendent, cependant nous en expliquons une autre plus universelle, en nous servant des lettres de l'alphabet. Cette science qu'on appelle algèbre sert à éclaircir, à étendre et à perfectionner autant qu'on le peut faire l'arithmétique, et généralement toutes les sciences qui se rapportent aux mathématiques. » (Jean Prestet, *Éléments des mathématiques* [Paris : Pralard, 1675], préface, f. aIV^{r}.)

être abrégée de moitié [6].

On peut donc considérer que ce manuel visait à produire une forme de synthèse des éléments d'algèbre que Descartes lui-même avait rédigés comme ouvrage propédeutique à sa *Géométrie* et aux développements proprement algébriques de cette dernière [7]. Les quelques autres analystes cités par Prestet, comme Diophante d'Alexandrie, François Viète (1540-1603), Jérôme Cardan (1501-1576), Frans van Schooten (1615-1640) ou Johan Hudde (1628-1704), ne le sont qu'en ce qu'ils auraient fourni des échantillons ou des améliorations marginales à la méthode de « Monsieur Descartes » :

> Ensuite, après y avoir donné quelque idée de la méthode de Diophante, et de celle de Viète, l'on s'arrête particulièrement à expliquer celle de Monsieur Descartes, parce qu'elle est la plus générale, la plus féconde et la plus facile de toutes. Cependant comme ce savant homme n'a pas démontré ni même exposé tous les principes qui lui ont servi, l'on ne trouvera pas dans ses écrits les mêmes avantages pour bien entendre son analyse, que l'on peut tirer de ces éléments [8].

Quant aux problème géométriques, Malebranche et Prestet sont convaincus qu'ils ne peuvent être résolus de manière satisfaisante que par cette algèbre qui fournira l'expression exacte des grandeurs qu'il s'agit de mesurer. La géométrie peut certes aider à découvrir que deux grandeurs sont égales, mais elle est impuissante à en faire connaître leur valeur [9].

Il semble donc clair qu'en 1675, l'achèvement de l'algèbre cartésienne est, pour Malebranche, la tâche que les mathématiques

6 - Prestet, *op. cit. in* n. 5, 452.
7 - Dans une lettre à Mersenne, Descartes mentionne une « Introduction à ma géométrie » à l'écriture de laquelle il n'a pas directement participé mais à laquelle il adjoint un ensemble de cinq problèmes : À Mersenne, 13 juillet 1638, in *Œuvres de Descartes*, éd. Charles Adam & Paul Tannery, nouvelle présentation, en co-édition avec le CNRS (Paris : Vrin, 1964-1974), t. II, 246. On peut estimer qu'il s'agit du même texte mentionné dans une lettre précédente du 27 mai 1638, faisant état du « prochain écrit que je vous avais promis pour l'intelligence de ma géométrie, car il est presque achevé, et c'est un gentilhomme d'ici de très bon lieu qui le compose » (*ibid.*, t. II, 146). S'agit-il du « Calcul de M. Descartes » dont Leibniz possédait une copie ? C'est la conclusion de C. Adam et P. Tannery qui le publient à la fin du t. X de leur édition : Calcul de M. Descartes, *ibid.*, t. X, 659-680.
8 - Prestet, *op. cit. in* n. 5, préface.
9 - Prestet, *op. cit. in* n. 5, préface.

doivent se donner. L'année 1675 correspond également à la première publication complète de la *Recherche de la vérité* et, à partir de cette date, les discussions et polémiques philosophiques vont entièrement l'absorber ; on ne trouve alors plus trace de nouveaux travaux mathématiques de sa part jusqu'au début des années 1690 lorsqu'il s'emploie à annoter les leçons de calcul intégral donné par Jean Bernoulli au marquis de L'Hospital (1661-1704) et dont il s'était procuré une copie [10]. Certes, Pierre Costabel (1912-1989), dans son édition du volume des *Œuvres complètes* de Malebranche constitué de textes mathématiques allant de 1689 à 1706, consacre un premier chapitre aux « tentatives françaises » de méthodes de tangentes et de quadratures qui constitueraient une « voie moyenne entre l'analyse cartésienne et les méthodes nouvelles [11] » issues du calcul leibnizien. Ces tentatives étaient marquées notamment par divers usages de la quantité « *e* » ainsi que par quelques séquences d'arithmétique des indivisibles [12]. Si quelques-uns de ces manuscrits sont des autographes de Malebranche, la plupart sont des copies réalisées par ses proches collaborateurs – Louis Carré (1663-1711) et Charles Reyneau (1656-1728) en particulier – de calculs menés par le marquis de L'Hospital. Malebranche, dont l'œuvre philosophique est désormais presque entièrement achevée, s'informe donc, durant cette brève période, de ces méthodes alternatives à l'algèbre cartésienne et au calcul infinitésimal. L'apprentissage direct du calcul intégral qu'il fait à partir de 1692 le conduira cependant à renoncer à cette « voie moyenne » et à œuvrer activement à la promotion en France de l'algorithme leibnizien en encourageant notamment la publication de *L'Analyse des infiniment petits* (1696) de L'Hospital puis de l'*Analyse démontrée* (1708) de Reyneau. Du reste, cet ouvrage de son ami Reyneau remplace dans la dernière édition de la *Recherche de la vérité* (1712) les *Éléments des mathématiques* de Prestet qui s'y trou-

10 - Malebranche, *op. cit. in* n. 3, t. XVII-2, chap. 2 et 3.

11 - Malebranche, *op. cit. in* n. 3, t. XVII-2, 5.

12 - Sur l'usage de la quantité « *e* » à l'aube de la naissance du calcul différentiel, dans la détermination des tangentes à une courbe en particulier, et par des mathématiciens aux méthodes aussi différentes que Descartes, Fermat, Debeaune, Hérigone, Van Schooten, Huygens, Sluse ou Barrow, cf. Sandra Bella, *La (Re)construction française de l'analyse infinitésimale de Leibniz : 1690-1706* (Paris : Classiques Garnier, 2022), 37-86.

vaient cités en premier depuis 1675 [13].

Il semble dès lors assez manifeste que la pratique malebranchiste des mathématiques s'est faite de manière relativement discontinue, et orientée vers la promotion de deux types de calcul : l'algèbre cartésienne dans ses années de formation, et l'algorithme leibnizien à une période où sa philosophie est déjà structurée autour de quelques thèses stabilisées. Certes, Malebranche s'applique à l'occasion à quelques autres méthodes arithmétiques ou géométriques mais qu'il n'envisage que dans le cadre de l'achèvement de ces deux calculs. Ses mathématiques se trouvent ainsi à l'intersection presque parfaite des programmes cartésien et leibnizien de résolution de problèmes.

Un revirement tardif ?

André Robinet (1922-2016) en avait conclu à un « revirement [14] » dans la pratique mathématique de Malebranche, et dès lors dans le statut qu'il accorde aux propositions mathématiques : il aurait « viré de bord », ayant surmonté ses « réticences cartésiennes » après que Leibniz l'eut convaincu de la puissance de son calcul [15]. Ainsi s'opposerait à un premier Malebranche cartésien faisant reposer la certitude des démonstrations mathématiques sur la perception d'idées claires et distinctes, un second Malebranche, praticien d'un calcul relevant d'opérations impliquant des passages à la limite qu'un esprit fini ne peut percevoir ni contrôler, et qui ne peut dès lors accorder aux mathématiques qu'une valeur instrumentale. En d'autres termes, Malebranche aurait renié sa propre philosophie des mathématiques reposant sur une certaine théorie de la connaissance et du statut des objets mathématiques pour s'incliner, à la manière de Huygens, devant l'efficacité d'un tel calcul. Plus précisément, « l'assimilation de

13 - Dans l'édition de 1700 de la *Recherche de la vérité*, les *Éléments des mathématiques* de Prestet sont encore mentionnés, mais en attente d'ouvrages les remplaçant, les ouvrages de Reyneau prenant en effet leur place dans la dernière édition de 1712 : *De la recherche de la vérité*, livre VI, II^e^ partie, chap. VI, *op. cit. in* n. 3, t. II, 375-376.

14 - « L'adhésion de Malebranche et du groupe de mathématiciens qui l'entouraient aux mathématiques de l'infini est un des plus spectaculaires revirements de l'histoire de la philosophie et du mouvement des idées. » André Robinet, La philosophie malebranchiste des mathématiques, *Revue d'histoire des sciences*, 14 (1961), 205-254.

15 - Robinet (1970), *op. cit. in* n. 4, 58.

quantités inégales à une même quantité, d'une courbe et d'une droite » qu'implique ce dernier était inadmissible pour des « cartésiens conservateurs » comme l'académicien Rolle :

> Ces querelles portent essentiellement sur l'impossibilité, selon la logique du clair et du distinct, de confondre une grandeur infiniment petite avec une grandeur nulle et une flexion avec une égalité. Ceux qui maintenaient en rigueur l'intuitionisme n'avaient aucune chance de réussir dans les nouveaux procédés non plus que d'en expliquer les mécanismes [16].

Cette thèse n'a que récemment été contestée, sur la base d'une analyse mettant au contraire l'accent sur une continuité de principes au soubassement des choix mathématiques de l'oratorien [17]. On peut alors s'interroger sur les arguments qui ont pu fonder de manière persistante l'interprétation discontinuiste non pas de la pratique mathématique de Malebranche, mais de ses justifications théoriques.

A cet égard, il est significatif de constater qu'A. Robinet défend une telle interprétation dans les années qui suivent immédiatement la publication de l'ouvrage d'Y. Belaval mentionné en introduction, et dans lequel ce dernier soutient l'hypothèse selon laquelle l'irréductibilité des méthodes cartésienne et leibnizienne se manifeste au plus haut point dans les choix poursuivis dans la résolution de problèmes mathématiques [18]. Plus précisément, c'est dans les termes d'un conflit entre intuitionnisme cartésien et formalisme leibnizien que la question se trouve exposée, et dont nous allons tenter de résumer les principaux déterminants.

16 - Robinet (1970), *op. cit. in* n. 4, 59.

17 - C'est le point de départ de l'étude que j'ai menée dans Claire Schwartz, *Malebranche : Mathématiques et philosophie* (Paris : Sorbonne Université Presses, 2019).

18 - « Rien ne distingue mieux les deux méthodes que la manière dont chacune prend les mathématiques pour modèle. » (Belaval, *op. cit. in* n. 1, chap. 1, 38.) « (…) nulle part sans doute ne se manifeste avec plus de précision que sur ces différences de méthodes mathématiques, l'opposition fondamentale du leibnizianisme et du cartésianisme. » (*Ibid.*, chap. 5, 302.)

Une grille de lecture : le formalisme leibnizien, critique de l'intuitionnisme cartésien

L'intuitionnisme cartésien

Comme A. Robinet, Y. Belaval attribue à Descartes une position « intuitionniste » qu'il inscrit explicitement dans une lignée qui se serait poursuivie avec l'école « pré-intuitionniste » française jusqu'à Luitzen Brouwer [19] (1881-1966). Ce qui unirait ces différents mathématiciens dont les pratiques diffèrent grandement en raison de leur situation historique très éloignée, ce serait la suspension du principe de tiers exclu pour toute question portant sur l'infini actuel. La vérité d'une proposition mathématique ne pourrait être établie que sur la base d'une intuition dont l'esprit est démuni dans ces « querelles de l'infini ».

Une première difficulté consiste dans le fait qu'Y. Belaval semble procéder par série de définitions implicites de l'intuition pour caractériser l'intuitionnisme cartésien, et de manière relativement surdéterminée par la critique que mène Leibniz à l'égard de la méthode cartésienne. Cette intuition est rapportée tout à la fois à l'arithmétique et à la géométrie, mais il semble assez clair que c'est à l'aune de la certitude géométrique qu'elle se trouve caractérisée dans la plupart des analyses menées. Y. Belaval conçoit du reste la *mathesis universalis* cartésienne non pas comme la science générale des rapports de grandeurs que serait l'algèbre, mais comme la science générale de la mesure des longueurs géométriques, les nombres servant à les exprimer ou à situer des points d'une courbe. L'algèbre est dès lors définie

19 - « Par son intuitionisme mathématique, Descartes se rapprocherait aujourd'hui de Brouwer, Weyl, Lebesgue ou Borel. Comme eux, il refuse de décider si un ensemble non dénombré est fini ou infini. Pour lui, comme pour eux, le principe du tiers exclu cesse d'être applicable dès qu'il s'agit de l'infini (Belaval, *op. cit. in* n. 1, 222). »

comme *ancilla geometriae*[20].

Y. Belaval ne réduit toutefois pas sa caractérisation de l'intuitionnisme cartésien à une théorie de la vérité ne consistant à tenir pour vraies que les propositions dont les objets peuvent être construits par un nombre fini d'étapes dans l'intuition de l'espace géométrique, et qui se trouvent dès lors mesurables, à l'aide si nécessaire de calculs algébriques. Il est en effet évident qu'une telle définition serait trop restrictive : il faut tenir compte notamment d'une certitude dont la certitude mathématique elle-même procède, comme le dit Descartes, et qui est celle des propositions métaphysiques[21]. Pour Y. Belaval, Descartes fait encore reposer les démonstrations métaphysiques sur une intuition, qui est une autre forme de donné, celui des « idées intuitives » ou « natures simples de la pensée pure » dont il s'agit de suivre l'ordre des

20 - Belaval, *op. cit. in* n. 1, 45. La question de savoir quel sens et contenu accorder à la *mathesis universalis* dépend de divers facteurs : de l'interprétation de la règle IV des *Regulae*, du contexte d'écriture de ce texte et de sa place relativement à l'ensemble du corpus cartésien, d'une part, et de l'interprétation de la *Géométrie* de 1637, de sa composition et de son objet relativement aux relations qui s'y nouent entre géométrie et algèbre d'autre part. Nous renvoyons sur ce point à ces diverses études, au sein desquelles l'hypothèse de Belaval serait à replacer : Henk Bos, *Redefining geometrical exactness : Descartes' transformation of the early modern concept of construction* (New York : Springer, 2001), Giovanni Crapulli, *Mathesis universalis : Genesi di una idea nel XVI secolo* (Rome : Ateneo, 1966) ; Enrico Giusti, *La Naissance des objets mathématiques* (Paris : Ellipses, 2000) ; Vincent Jullien, *Descartes : La Géométrie de 1637* (Paris : Presses universitaires de France, 1996) ; Jean-Luc Marion, *Sur l'ontologie grise de Descartes* (Paris : Vrin, 1975) ; Sébastien Maronne, « La Théorie des courbes et des équations dans la géométrie cartésienne : 1637-1661 », thèse de doctorat (université Paris 7, 2007) ; Richard Serjeantson et Michael Edwards, *René Descartes, Regulae ad directionem ingenii : An early manuscript version* (Oxford University Press, 2023) ; John Schuster, Descartes' *mathesis universalis*, *in* Stephen Gaukroger (dir.), *Descartes : Philosophy, mathematics, and physics* (Brighton : Harvester Press ; Totowa, N. J. : Barnes & Noble Books, 1980) ; Jean-Paul Weber, *La Constitution du texte des Regulae* (Paris : Sedes, 1964). Pour situer la *mathesis universalis* cartésienne au sens d'une histoire plus longue du concept, voir David Rabouin, *Mathesis universalis : L'idée de mathématique universelle* (Paris : Presses universitaires de France, 2009).

21 - « (...) au moins pensé-je avoir trouvé comment on peut démontrer les vérités métaphysiques, d'une façon qui est plus évidente que les démonstrations de géométrie (...) », Lettre de Descartes à Mersenne, 15 avril 1630, *in* Descartes, *op. cit. in* n. 7, t. I, 144. Cette lettre introduit la thèse célèbre de la création des vérités éternelles ; sur le rôle de fondement de cette dernière à l'égard des vérités éternelles des mathématiques et des principes de la physique, nous renvoyons notamment aux ouvrages de Jean Luc Marion, *Sur la théologie blanche de Descartes : Analogie, création des vérités éternelles et fondement* (Paris : Presses universitaires de France, 1981) et de Michio Kobayashi, *La Philosophie naturelle de Descartes* (Paris : Vrin, 1993).

raisons, qui se construit dès lors dans une intuition qui ne diffère que par ses objets [22]. Et si cette méthode situe Descartes dans une longue tradition d'intuitionnisme mathématique, ce serait parce qu'un infini en acte ne pourrait jamais être l'objet d'une construction achevée et dès lors pleinement connue dans un donné intuitif.

Ces analyses par ailleurs lumineuses posent néanmoins la question de l'unité supposée du concept d'intuition qui ne semble pas réellement homogène lorsqu'on passe du domaine mathématique à celui de la métaphysique, et à l'intérieur des mathématiques, de l'arithmétique à la géométrie [23]. L'unité du concept d'intuition semble dès lors se constituer de manière extrinsèque, comme le produit des critiques leibniziennes de la méthode cartésienne qui trouverait les remèdes à ses défauts dans ce que Belaval nomme donc le formalisme leibnizien.

Le « formalisme » leibnizien

Belaval estime en effet qu'avec Leibniz, la certitude change de « base [24] » : celle-ci se déploie dans la « pensée aveugle », caractéristique d'un formalisme qui serait le remède à la pensée intui-

22 - « Nous perdons l'*aide* de l'imagination constructive du géomètre pour nous exposer au désordre et à la confusion de l'imagination affective : “les préjugés que nous avons reçus par les sens, et auxquels nous nous sommes accoutumés dès notre enfance”. De leur nature, les premières notions de la métaphysique, insiste Descartes, ne sont pas moins claires, et même elles sont souvent plus claires que celles qui sont considérées par les géomètres. Et, en effet, ce sont des natures simples de la pensée pure, détachée du commerce des sens. Seulement leur *détermination* n'est plus formalisable parce qu'elle ne participe plus à la nature *partes extra partes* de l'étendue : elle n'a plus rien de technique, elle relève d'une expérience intuitive qui exige un effort d'attention difficilement soutenable (Belaval, *op. cit. in* n. 1, 48). »

23 - Y. Belaval affirme notamment que la notion mathématique du nombre procède de la structure *partes ex partes* de l'idée d'étendue : « Avec l'idée innée de l'étendue, voici l'idée innée de parties réellement distinctes – *partes extra partes* – homogènes et identiques, totalisables, et nous pouvons commencer de parler d'une notion mathématique du nombre (*ibid.*, 210). » Belaval renvoie ici à un passage de la « Cinquième méditation » portant sur l'imagination distincte de l'étendue (Descartes, *op. cit. in* n. 7, t. VII, 63), en éludant le passage de la « Troisième méditation » attribuant l'origine de la notion du nombre à l'expérience intuitive de la pensée pure et de la multiplicité de ses objets (*ibid.*, t. VII, 44-45).

24 - « Mais le leibnizien, parce qu'il a, nous le verrons, une théorie du formalisme qui prend pour base la pensée aveugle et non la pensée intuitive (…) (Belaval, *op. cit. in* n. 1, 49). »

tive. Il y aurait dès lors une continuité entre la méthode leibnizienne et le programme hilbertien dans la mesure où c'est à un système formel constitué de règles bien définies de combinaisons finies de signes et non à des idées immédiatement perçues que s'appliquent les critères du vrai [25].

Il est manifeste que la notion d'un formalisme leibnizien est ici largement informée par les catégories établies par Leibniz dans son opuscule *Méditations sur la connaissance, la vérité et les idées* [26] ayant servi de base aux articles XXIV et XXV du *Discours de métaphysique*, et auquel Leibniz fait explicitement référence vingt ans plus tard dans les *Nouveaux essais* [27]. Leibniz s'y interroge sur la capacité de l'esprit à « voir ensemble », opération qu'un esprit fini ne peut quasiment jamais exécuter : il ne peut en effet « embrasser à la fois » tous les éléments de ce qui est pensé. À plus forte raison, il ne peut voir une collection infinie. Or c'est à cette opération que prétendrait la connaissance *intuitive*, en atteignant les notions primitives pour les penser ensemble. L'exemple très cartésien de chiliogone vient l'illustrer : la visée de notre esprit ne se termine pas à l'intuition d'un objet dans l'unité de tous ses composants qui constituent ses propriétés, mais à un signe, le mot « chiliogone ». Celui-ci se substitue à sa définition, élément discursif et linguistique explicitant une propriété caractéristique de l'objet.

Sur cette base textuelle, Belaval opère dès lors toute une série d'associations en rapportant notamment la recherche d'algorithmes et la constitution d'un symbolisme adéquat – dont

25 - « À la place de l'intuition, il ne veut que celle, concrète, des *signes*. Ou encore, l'objet de l'intuition, c'est la définition. La méthode ne sera donc plus pour Leibniz une propédeutique de l'intuition continuée, mais un art général des algorithmes (Belaval, *op. cit. in* n. 1, 50). »

26 - *Die Philosophischen Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz*, éd. par Carl Immanuel Gerhardt, 7 vol. (Berlin : Weidmann, 1875-1899), vol. IV, 422-426 ; *id.*, *Opuscules philosophiques choisis*, trad. par Paul Schrecker (Paris : Vrin, 1962), 9-16.

27 - Gottfried Wilhelm Leibniz, *Nouveaux essais sur l'entendement humain*, livre II, chap. XXIX, § 2 ; livre III, chap. IV, § 4-7 ; voir *id.*, *Sämtliche Schriften und Briefe*, éd. par la Preußische Akademie der Wissenschaften à Berlin, puis par la Berlin-Brandenburgische Akademie der W. et l'Akademie der W. zu Göttingen (Darmstadt, puis Leipzig, puis Berlin, 1923-), sér. VI, vol. 6, 254-255 et 296-297.

Descartes avait pourtant lui-même souligné l'importance [28] – à la critique d'une forme de pensée intuitive. Le formalisme attribué à Leibniz est ainsi présenté comme remède à une position « intuitionniste » cartésienne, en ce qu'il permet de sauver la vérité en la soustrayant à un simple fait contingent, celui d'un acte de vision donateur de sens en définitive peu fiable, en la fondant sur l'analyse des propositions reposant elle-même sur la définition de ses éléments.

Pour établir la cohérence philosophique des choix mathématiques de Malebranche, faut-il alors renoncer entièrement à une telle opposition ? L'analyse menée par Y. Belaval, et dans laquelle semblait s'inscrire Robinet, a permis toutefois de dégager quelques déterminants des positions respectives de Descartes et Leibniz relatives à la question de la vérité et de la démonstration, et qui peuvent s'appliquer à la catégorie plus générale d'intuitionnisme mathématique.

La persistance d'une opposition opératoire ?

D'une querelle des fondements à l'autre, certains invariants semblent se dégager, qui donnent un certain sens à inscrire la démarche leibnizienne dans la lignée du programme hilbertien et celle de Descartes des positions de Brouwer.

Le rôle des principes logiques

Tout d'abord, une démarcation se joue relativement au rôle accordé aux principes logiques. Leibniz fait de la conformité aux principes logiques incréés les conditions de vérité d'une proposition en démontrant des identités et des contradictions, quitte à réformer certaines règles de la logique aristotélicienne. Pour Descartes, au contraire, c'est l'expérience de la vérité qui est première, et les principes logiques surviennent en quelque sorte sur

28 - Cf. Descartes, *op. cit. in* n. 7, t. X, 455 ; *id.*, *Règles pour la direction de l'esprit*, trad. par Jacques Brunschwig (Paris : Garnier, 1963). Sur la différence entre Descartes et Leibniz dans leur usage du symbolisme, voir Marcelo Dascal, Leibniz, Hobbes, Locke and Descartes on signs, memory and reasoning, *in id.*, *Leibniz : Language, signs and thought* (Amsterdam : John Benjamins, 1987), 41-43.

elle. Le principe d'identité notamment accompagne nos pensées vraies, mais n'établit pas la vérité de ce qui est pensé :

> Au premier sens, on peut dire que *impossibile est idem simul esse et non esse* est un principe, et qu'il peut généralement servir, non pas proprement à faire connaître l'existence d'aucune chose, mais seulement à faire que, lorsqu'on la connaît, on en confirme la vérité par un tel raisonnement. Il est impossible que ce qui est ne soit pas ; or je connais que telle chose est ; donc je connais qu'il est impossible qu'elle ne soit pas. Ce qui est de bien peu d'importance, et ne nous rend de rien plus savants [29].

En aucune manière, le vrai ne se réduit à la non-contradiction ; celle-ci ne fait que confirmer que ce qui est vrai est vrai, et qui a été reconnu comme telle par d'autres voies. Il n'y a pas de sens à faire un usage « à vide » des notions communes en général, dont font partie les principes logiques [30].

Du principe du tiers exclu

Descartes fait assez peu usage des raisonnements par l'absurde, que ce soit en géométrie ou en métaphysique, et n'hésite pas à en suspendre entièrement la validité dans certains cas. Ainsi refuse-t-il de déduire du caractère conçu comme non fini d'un objet (l'étendue du monde notamment) son caractère infini : dans ce cas d'indécidabilité, il faut préférer qualifier un tel objet d'indéfini [31]. L'application du principe du tiers exclu s'avère en effet problématique dans le cas démonstrations engageant la propriété d'être infini, et dès lors les propriétés d'ensembles infinis dans la mesure où la question de savoir si un ensemble ou un nombre est fini ou infini peut ne pas avoir de sens. A cet

29 - À Clerselier, lettre de juin ou juillet 1646, *in* Descartes, *op. cit. in* n. 7, t. IV, 444.

30 - Descartes, *Principia philosophiae* (Amsterdam : Elzevier, 1644), partie I, § 47 (*id.*, *op. cit. in* n. 7, t. VIII, 23-24).

31 - Descartes, *op. cit. in* n. 30, partie I, § 27 (*id.*, *op. cit. in* n. 7, t. VIII, 15) ; sur la nature ni finie ni infinie du monde, cf. À More, lettre du 5 février 1649, *in* Descartes, *op. cit. in* n. 7, t. V, 274-275 ; lettre du 15 avril 1649, *ibid.*, t. V, 344. Dans quelle mesure la position de Descartes en ce point ne recouvre pas l'analyse kantienne des deux premières antinomies en ce que Descartes continuerait à donner un sens à ce problème tout en refusant d'y répondre, cf. Gérard Lebrun, *Kant et la fin de la métaphysique : Essai sur la « Critique de la faculté de juger »* (Paris : Armand Colin, 1970), 91.

égard, Brouwer évoquera plus tard ce qu'il nomme des « propriétés fuyantes » : pour chaque objet n d'une classe infinie, on peut vérifier si n possède une telle propriété P ou non, mais on ne peut ni démontrer qu'il existe un objet n qui possède cette propriété en le calculant ni qu'il n'en existe aucun [32]. La solution à ce problème serait, pour Brouwer, de s'assurer que les propositions à démontrer ne sont pas vides de sens, et alors que l'objet sur lequel on raisonne et dont on veut déduire les propriétés soit donné, c'est-à-dire calculable ou construit à partir d'une « intuition primordiale » d'ordre temporel, d'où procèdent la suite des entiers naturels et le continu [33]. Plus généralement, selon une approche intuitioniste, l'intuition engendre les objets mathématiques et donne ainsi sa matière aux propositions qui s'y rapportent, permettant de préciser les conditions de validité des démonstrations par l'absurde en mathématiques : elles ne peuvent s'appliquer qu'à des objets ou « exemplaires » qui sont constructibles. Ainsi, les nombres $\sqrt{2}$ ou π peuvent être représentés de diverses manières, et notamment comme la diagonale d'un carré de côté 1 ou par le rapport de la circonférence d'un cercle à son diamètre respectivement, et calculés par un algorithme qui se poursuit certes à l'infini [34].

À l'inverse, on pourrait s'attendre alors à ce que Leibniz n'ait pas de prévention à l'égard du principe du tiers-exclu, et procède plus naturellement à des démonstrations par l'absurde. Ceci n'est toutefois pas le cas, comme Y. Belaval l'avait du reste bien relevé. Il estimait toutefois que Leibniz opérait cette suspension pour des raisons proprement « formelles », tenant à la réalité même

32 - Autrement dit, même si $\forall x(\mathrm{P}(x) \vee \neg\mathrm{P}(x)$ est vrai, cela n'implique ni $\exists x\mathrm{P}(x)$ ni $\neg\exists x\mathrm{P}(x)$: voir Jean Largeault, *L'Intuitionisme* (Paris : Presses universitaires de France, 1992), 44-45. Sur ce concept de propriété fuyante, cf. Jean Cavaillès, *Méthode axiomatique et formalisme : Essai sur le problème du fondement des mathématiques* (Paris : Hermann, 1937), 35-36.

33 - Brouwer affirme alors rejoindre en partie les affirmations de l'esthétique transcendantale kantienne : On the foundations of mathematics (1907), *in* Luitzen Egbertus Jan Brouwer, *Collected works*, vol. I, *Philosophy and foundations of mathematics* (Amsterdam : North-Holland ; New York : American Elsevier, 1975), 70.

34 - Sur ce point, voir Jean Largeault, *Intuition et intuitionisme* (Paris : Vrin, 1993), 90-91.

de l'objet et non aux limites de notre intuition [35]. C'est le passage à la limite qu'induit la composition du continu qui imposerait alors une telle suspension : une grandeur continue ne peut être considérée comme composée de parties en nombre fini, mais elle peut tout aussi difficilement être comprise comme composée de parties en nombre infini sans violer l'axiome selon lequel le tout est plus grand que la partie [36]. Néanmoins, le calcul intégral suppose de tenir, par exemple, la circonférence d'un cercle comme égale à celle d'un polygone conçu comme composé d'une infinité de côtés, ce qui signifie que chaque côté s'identifie à un point, ce qui est contradictoire avec la divisibilité à l'infini du continu. Si les deux grandeurs ne sont pas égales, cependant, les calculs par passage à la limite, ou méthodes infinitésimales directes, induisent des résultats faux. La vérité de l'algorithme leibnizien reposerait donc, aux yeux mêmes de Leibniz, sur une suspension du principe du tiers-exclu. C'est précisément une telle contradiction qu'A. Robinet estimait incompatible avec une position intuitionniste attribuée aux mathématiciens cartésiens dont aurait d'abord fait partie Malebranche.

Une telle interprétation peut surprendre dans la mesure où la suspension du principe du tiers exclu est habituellement attribuée à une position intuitionniste ; elle se comprend si elle se

35 - « Descartes n'a pas de *raison intuitive* pour affirmer ou nier l'existence du plus grand nombre : ainsi la suspension du tiers exclu est imputable à la nature de mon entendement fini, et non pas à celle du nombre dont l'entendement infini perçoit le dernier terme, si un tel terme existe. Leibniz a une *raison formelle* pour nier la possibilité du plus grand nombre : la suspension du tiers exclu pour le passage à la limite n'est donc plus imputable à la finitude de mon entendement, puisque même pour Dieu, il n'y a pas de dernier terme, mais à la nature même du continu. / En définitive, le passage à la limite semble bien être une opération *sui generis*, qui, logique en ce sens qu'elle n'est pas contradictoire – pour résumer avec Schrecker la pensée de Leibniz, "il ne peut y avoir de contradiction entre un continu et sa limite" – échappe néanmoins au tiers exclu par quelque chose d'existentiel : le mouvement, l'actualisation d'une puissance (Belaval, *op. cit. in* n. 1, 336). »

36 - Sur les débats initiés notamment par Galilée et Grégoire de Saint-Vincent à propos de de la vérité de l'axiome euclidien (« le tout est plus grand que la partie ») au XVII^e siècle autour de la question des ensembles infinis et de l'angle de contact, voir Marwan Rashed, Leibniz et Sextus Empiricus sur le continu, *in* Vincent Carraud (dir.), *L'Or dans la boue : Leibniz et les philosophies antiques et médiévales* (Paris : Sorbonne Université Presses, 2021), 299-331 ; Eberhard Knobloch, Galileo and Leibniz : Different approaches to infinity, *Archive for history of exact sciences*, 54 (1999), 87-99 ; Samuel Levey, Comparability and infinite multitude in Galileo and Leibniz, *in* Norma Goethe, Paul Beeley et David Rabouin (dir.), *G. W. Leibniz : Interrelations between mathematics and philosophy* (Springer, 2015), 157-187.

trouve replacée dans le cadre de l'opposition construite par Y. Belaval. Ce dernier estimait en effet que son application dans le domaine du calcul infinitésimal maintenait fermement Leibniz dans le camp formaliste dans la mesure où elle ne procédait pas d'un manque d'intuition donnant à l'objet sa réalité. On peut toutefois estimer à l'inverse que Leibniz s'avère bien intuitionniste en ce domaine en posant une forme d'intuition du continu qui se donne nécessairement à penser comme en contradiction avec le principe du tiers exclu.

Cette conclusion nous reconduit en réalité à la relative indétermination du concept d'intuition qu'Y. Belaval, comme d'autres, semblent simplement identifier à un acte d'ordre quasi psychologique, de visée voire de vision immédiate d'une essence par un sujet défini par sa finitude empirique. Or si Descartes caractérise bien l'intuition comme l'acte d'une conscience et reprend le champ sémantique de la vision, celle-ci a affaire davantage à la reconnaissance immédiate de la liaison nécessaire entre des *cogitata* qu'à des objets dont les propriétés seraient saisies toutes ensemble par un même acte [37]. Ceci peut expliquer son refus de l'opération de passage à la limite, puisque dans les phénomènes convergents, l'esprit ne peut saisir en toute nécessité que *le rapport d'un terme à un autre*, ce qui *de facto* rend impossible l'intuition d'un dernier terme et sa notion contradictoire. Du reste, si l'intuition cartésienne ne relevait que d'un sentiment psychologique d'indubitabilité, la distinction qu'établit Descartes entre certitude morale et certitude métaphysique ne pourrait plus être comprise. S'il m'est psychologiquement impossible de douter que Rome a existé, ou que mon corps n'existe pas, la simple possibilité d'opposer à ces croyances des raisons impliquant la possibilité de leur contraire abolit leur prétention à la certitude absolue.

De ce point de vue, la définition de l'intuitionnisme proposée par J. Vuillemin (1920-2001) semble plus opératoire, et met plus

37 - Ainsi, au moment où Descartes propose une définition de l'intuition et en propose des illustrations, celles-ci ont une forme propositionnelle : « Ainsi chacun peut voir par intuition qu'il existe, qu'il pense, que le triangle est délimité par trois lignes seulement, la sphère par une seule surface, et autres choses semblables qui sont bien plus nombreuses que ne le remarquent la plupart des gens, parce qu'ils dédaignent de tourner leur esprit vers des choses si faciles. » Descartes, *op. cit. in* n. 7, t. X, 368, trad. par Brunschwig *in id., op. cit. in* n. 28.

clairement en lien les deux invariants que nous venons d'évoquer. La question n'est pas directement celle d'une théorie de la connaissance soumise ou non à la finitude empirique de l'esprit humain et de ses idées, mais celle du critère du vrai *dans l'absolu*. De deux choses l'une : soit la norme du vrai comme telle est dépendante de sa saisie par un sujet connaissant, soit elle est transcendante à tout acte de ce dernier et se loge dans la conformité à des principes éternels du raisonnement, à des principes logiques. Pour reprendre les termes de J. Vuillemin, l'adéquation que l'intuitionnisme requiert « n'est donc pas entre la chose et la représentation vraie, mais entre la représentation et le canon propre à en garantir la vérité [38] ». Ce n'est dès lors pas au formalisme que vient s'opposer l'intuitionnisme mais au dogmatisme au sein d'une théorie de la norme du vrai. Ainsi, Descartes est sans aucun doute intuitionniste dans la mesure où il souligne l'impossibilité d'affirmer une norme du vrai antérieure à sa constitution par la puissance divine infinie, position à laquelle Leibniz refuse clairement d'adhérer [39]. Il s'ensuit, de la part de Descartes, une position cohérente sur les « querelles de l'infini » : le caractère contradictoire de certains de leurs énoncés n'est pas le signe de leur fausseté mais de leur nature intrinsèquement indécidable qu'aucune loi éternelle du raisonnement ne permettrait de lever – de la même manière que pour Kant, l'infinité du monde est une question vide de sens. Cette position cartésienne n'est donc pas liée à la simple nature finie de l'esprit connaissant et de son intuition, mais à des thèses spécifiques relatives à la norme du vrai, et c'est à cet aune qu'il va s'agir de juger l'héritage cartésien des mathématiques malebranchistes et leur cohérence.

38 - Jules Vuillemin, Trois philosophes intuitionnistes : Épicure, Descartes et Kant, *Dialectica*, 35 (1981), 24. Il développe cette notion d'intuitionnisme dans d'autres ouvrages, notamment dans le recueil d'articles *id.*, *L'intuitionnisme kantien* (Paris : Vrin, 1994) ou *id.*, *Nécessité et contingence* (Paris : Minuit, 1986).

39 - La question peut se poser des relations entre la thèse de la création des vérités éternelles et une position intuitionniste dans la pensée cartésienne. Pour S. Chauvier, et contrairement à ce qu'affirmerait Vuillemin, c'est la thèse métaphysique de la toute-puissance divine qui impliquerait, à titre de conséquence, une épistémologie intuitionniste : Stéphane Chauvier, Des mondes à Dieu : Descartes et les modalités, *Les Études philosophiques*, 2021/1 (2021), 121-145. Ce qui importe toutefois, c'est que l'une comme l'autre procède d'un principe commun consistant à poser l'impossibilité pour la logique de caractériser dans l'absolu ce qui est nécessairement vrai, pour l'esprit humain comme pour l'esprit divin.

Calcul de l'infini et norme du vrai dans les mathématiques malebranchistes

Une pensée algorithmique

Il ne fait aucun doute que Malebranche fut un héritier philosophique de Descartes et le promoteur de sa science, à tel point que le terme de « malebranchistes » devint de fait un synonyme de « cartésiens » au cours du XVIII^e siècle, notamment dans le contexte de l'opposition des défenseurs de la théorie cosmologique des tourbillons aux hypothèses et méthodes newtoniennes [40]. Nous avons rappelé le programme mathématique qui entoure la publication des *Éléments des mathématiques* en 1675, qui s'apparente à celui ouvert par le livre III de la *Géométrie* de 1637. L'ouvrage de Prestet ne traite pas des problèmes centraux de l'ouvrage cartésien que sont les constructions de courbes et de tangentes ou la classification des courbes à partir de déterminations algébriques. Ces questions ne sont pas ignorées par Malebranche pour autant, et sa liste d'ouvrages mathématiques comprend également la *Géométrie* de 1637. La question géométrique apparaît toutefois secondaire, la priorité étant mise sur le développement du calcul algébrique.

On ne peut par ailleurs remettre en question le fait qu'un « groupe malebranchiste » – terme forgé par A. Robinet pour désigner un ensemble de savants en relation plus ou moins étroite avec le philosophe – se soit constitué à l'aube des années 1690 afin de diffuser les méthodes du calcul infinitésimal en France, à la fois dans les milieux savants comme à l'Académie des sciences et dans des institutions d'enseignement avancé [41].

40 - Sur la diffusion des hypothèses malebranchistes en physique au XVIII^e siècle, et la manière dont elles peuvent être considérées comme un perfectionnement de la physique cartésienne, cf. Thomas L. Hankins, The influence of Malebranche on the science of mechanics during the eighteenth century, *Journal of the history of ideas*, 28 (1967), 193-210 ; Pierre Costabel, La participation de Malebranche au mouvement scientifique : Le modèle tourbillonnaire, *in* Centre international de synthèse (dir.), *Malebranche, l'homme et l'œuvre, 1638-1715* (Paris : Vrin, 1967), 75-101 ; Robinet (1970), *op. cit. in* n. 4 ; Christophe Schmit, *La Philosophie naturelle de Malebranche au XVIII^e siècle : Inertie, causalité, petits tourbillons* (Paris : Classiques Garnier, 2020).

41 - André Robinet, Le groupe malebranchiste introducteur du calcul infinitésimal en France, *Revue d'histoire des sciences*, 13 (1960), 287-308.

Les contributions majeures de ce groupe sont les mémoires de Pierre Varignon (1654-1722) et de L'Hospital à l'Académie, et en ce qui concerne les extensions pédagogiques de ce programme, il faut retenir l'*Analyse des infiniment petits* (1696) de Guillaume de L'Hospital – premier traité et cours publié de calcul différentiel –, la *Méthode pour la mesure des surfaces, la dimension des solides, leurs centres de pesanteur, de percussion et d'oscillation par l'application du calcul intégral* (1700) de L. Carré – premier ouvrage publié de calcul intégral –, *L'application de l'algèbre à la géométrie* (1705) de Nicolas Guisnée (?-1718) et l'*Analyse démontrée* (1708) de C. Reyneau qui va en un sens supplanter les précédents en constituant un ouvrage complet d'analyse mathématique, à la fois algébrique, différentiel et intégral, et devenir le cours le plus utilisé en ce domaine dans les premières décennies du XVIIIe siècle français.

On en retient donc généralement le fait que Malebranche a, par cette voie, contribué à diffuser le calcul leibnizien en France à un public aussi vaste que possible. Il s'agirait alors du passage d'une mathématique du fini à un calcul de l'infini. Un autre point mérite toutefois d'être ici souligné : certains de ces textes portent donc sur l'application de l'algèbre « ordinaire » à des problèmes géométriques, d'autres sur le calcul différentiel, d'autres sur le calcul intégral, et l'un d'entre eux (l'*Analyse démontrée*) en propose un exposé complet qui les unifie sous l'objet « analyse ». Ce qui caractérise en propre ces différentes publications n'est donc pas spécifiquement le recours au calcul leibnizien, mais une approche calculatoire des problèmes, géométriques ou autres, ce qui les placent dans le sillage des éléments de mathématiques rédigés par Prestet mais également par ceux publiés par le grand ami de Malebranche, Bernard Lamy [42] (1640-1715).

Par ailleurs, cette approche des problèmes mathématiques informant l'écriture de ces ouvrages peut être directement mise en relation avec les thèses méthodologiques de Malebranche qui participe donc en profondeur à la production de ces diverses publications et contribue à leur donner leur unité. On peut dans un premier temps se référer aux développements du livre VI de la *Recherche de la vérité*, traité de la méthode inspiré des *Regulae*

42 - Bernard Lamy, *Éléments de mathématiques ou Traité de la grandeur en général* (Paris : Pralard, 1680).

cartésienne, et réactualisé au fil des diverses éditions de l'ouvrage de 1675 à 1712. Les chapitres IV et V de la première partie de ce livre VI, en particulier, traitent des divers secours que l'on peut tirer dans la recherche de la vérité de l'exercice de la géométrie d'une part, de l'arithmétique, de l'algèbre puis de l'analyse d'autre part. La géométrie, en tant que science des choses étendues, a recours à l'imagination dont il peut être fait un usage réglé si elle produit des figures représentant à notre esprit, dont la force et l'attention sont limitées, des rapports réels entre grandeurs sous forme de rapports de *lignes*[43].

Toutefois, la géométrie ainsi conçue, qui peut s'étendre aux problèmes physico-mathématiques, n'a qu'un pouvoir de « présentation » de vérités : elle les fait *voir* mais ne les fait pas *connaître*. Malebranche s'appuie généralement sur le cas des grandeurs incommensurables pour l'illustrer, le cas de la grandeur $\sqrt{2}$ étant de ce point de vue le plus simple : la géométrie fournit ainsi un moyen de la figurer et de la construire comme la diagonale du carré de côté 1. La géométrie, toutefois, ne permet pas de reconnaître par elle-même les égalités générales qui permettent de s'assurer qu'une telle construction est la bonne, et en premier lieu que *tous* les triangles rectangles construits de côtés a, b, c vérifient cette propriété : $a^2 = b^2 + c^2$.

En effet, la géométrie, en tant qu'usage réglé des lignes et figures représentées à l'imagination, n'a affaire qu'à des lignes particulières. Si la géométrie est une science, c'est en tant qu'elle instancie des rapports de grandeurs qui doivent être connus sans elle et qui lui sont rapportés étant données certaines hypothèses faites sur ces lignes. C'est donc toujours cet exemple de la construction de la diagonale du carré qui sert par la suite à Malebranche à opposer ce qui relève du voir et du connaître, du sentiment et de la connaissance, du sensible et de l'intelligible[44].

43 - « Les lignes et les figures de géométrie sont donc très propres pour représenter à l'imagination les rapports qui sont entre les grandeurs, ou entre les choses qui diffèrent du plus et du moins, comme les espaces, temps, les poids, etc. Tant à cause que ce sont des objets très simples qu'à cause qu'on les imagine avec beaucoup de facilité. » Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre VI, I^re^ partie, chap. IV, *op. cit. in* n. 3, t. II, 276.

44 - Malebranche, *Entretiens sur la métaphysique et la religion*, Entretien V, § III (*id.*, *op. cit. in* n. 3, t. XII-XIII).

Un autre argument est employé depuis la première édition de la *Recherche de la vérité*, et que nous avons déjà brièvement évoqué : si la géométrie permet de construire dans l'étendue cette grandeur incommensurable, elle ne permet en rien d'en approcher sa valeur, avec une exactitude aussi grande que souhaitée [45].

De ce point de vue, ce sont les sciences du calcul, rapportées par généralisations successives à l'arithmétique, puis l'algèbre et enfin à l'analyse, qui constituent la science maîtresse. Ces positions étaient déjà affirmées par Malebranche dans la *Recherche de la vérité*, mais plus encore dans les *Éléments des mathématiques* de Prestet.

Cette approche calculatoire des problèmes mathématiques a pu dès lors offrir un cadre conceptuel permettant à certains membres de son groupe de surmonter les différentes querelles qui opposaient donc, et tout particulièrement en France, analystes et géomètres, algébristes et infinitistes. Malebranche entendait poursuivre un idéal algébrique issu de la *Géométrie* de Descartes en réduisant tout problème mathématique à l'expression de systèmes d'équations et leur résolution à un travail sur des formes analytiques, et dont il voit dans l'analyse infinitésimale un prolongement naturel en ce qu'elle produit un *calcul* portant certes sur des égalités d'un genre un peu nouveau, ne liant pas seulement des lignes entre elles mais également leurs différentielles.

De ce point vue, Malebranche est un partisan de la pensée aveugle : il n'hésite pas à employer la symbolique leibnizienne des dx et du signe $\int$ signifiant des opérations infinies, et autorisant ainsi le passage à la limite par le calcul d'une intégrale [46]. S'il lui arrive de commenter l'utilité des symboles algébriques de Descartes sans jamais discuter explicitement de la symbolique leibnizienne, le simple fait qu'il en fasse usage et n'exprime jamais la moindre réserve à l'égard de cette dernière signifie assez clairement qu'il lui attribue la même fonction, celle d'« étendre

45 - Prestet, *op. cit. in* n. 5, préface.

46 - Pour observer Malebranche à l'œuvre dans sa découverte et sa pratique du calcul infinitésimal par le biais des leçons de calcul intégral de Jean Bernoulli, voir Malebranche, *op. cit. in* n. 3, t. XVII-2, 131-176.

la capacité de l'esprit [47] ».

Un des déterminants dégagés par Y. Belaval qui nous avait semblé contestable était le fait d'associer à une tendance formaliste la recherche d'algorithmes et le recours au symbolisme. Ceci placerait sans aucun doute Malebranche du côté formaliste : ce qui se manifeste de façon continue, de ses travaux en arithmétique et en algèbre littérale dans un premier temps, et notamment dans sa collaboration avec Prestet, au calcul infinitésimal dans un second temps, c'est son intérêt constant pour le calcul, généralisé à partir de l'arithmétique, et son relatif désintérêt pour la géométrie des figures et son axiomatisation. Les questions qui nous apparaissaient toutefois plus décisive étaient le lien à penser entre la forme d'intuition requise dans les démonstrations mathématiques et la norme du vrai, et celle de sa cohérence au sein de la pratique mathématique de l'oratorien. C'est ce dernier point qu'il s'agit désormais d'analyser.

Fonder la vérité sur l'expérience d'une évidence : Malebranche « intuitionniste » ?

Cet intérêt constant pour la recherche d'algorithmes et pour un symbolisme « aveugle » qui vient les exprimer se concilient chez Malebranche avec des éléments manifestement intuitionnistes, au sens ordinaire, en ce qu'il affirme que la vérité se reconnaît à une expérience du sujet connaissant, expérience qui est même de l'ordre du sentiment d'une évidence. Ce constat confirme-t-il l'interprétation discontinuiste de sa pensée mathématique et selon laquelle il se serait converti à une conception instrumentaliste des mathématiques dont les résultats, plus que la vérité, importent ?

Il est vrai que Malebranche affirme que la première règle dans la recherche de la vérité est de toujours « conserver l'évidence dans ses raisonnements » :

> Le principe de toutes ces règles est *qu'il faut toujours conserver l'évidence dans ses raisonnements pour découvrir la vérité sans crainte de se tromper*. De ce principe dépend cette règle générale

47 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre II, II^{e} partie, chap. v ; livre VI, II^{e} partie, chap. v (*id.*, *op. cit. in* n. 3, t. II).

> qui regarde le sujet de nos études, savoir : que *nous ne devons raisonner que sur des choses dont nous avons des idées claires ; et, par une suite nécessaire, que nous devons toujours commencer par les choses les plus simples et les plus faciles, et nous y arrêter fort longtemps avant que d'entreprendre la recherche des plus composées et des plus difficiles*[48].

Or l'évidence elle-même semble définie comme une expérience, relevant d'une forme de sentiment :

> Car la vérité ne se trouve presque jamais qu'avec l'évidence, et l'évidence ne consiste que dans la vue claire et distincte de toutes les parties, et de tous les rapports de l'objet, qui sont nécessaires pour porter un jugement assuré. L'usage donc que nous devons faire de notre liberté, c'est de nous en servir autant que nous le pouvons ; c'est-à-dire de ne consentir jamais à quoi que ce soit, jusqu'à ce que nous y soyons comme forcés par des reproches intérieurs de notre raison[49].

Le terme d'intuition n'est pas employé, mais on retrouve le vocabulaire de la vision, celle d'une « vue claire et distincte de toutes les parties », « des rapports de l'objet nécessaires pour porter un jugement assuré ».

Cette perception claire et distincte est décrite en opposition aux énoncés vides ayant l'apparence du vrai auxquels nous mène l'emploi de termes confus, à commencer par les raisonnements à vide de la pure logique :

> On vient de faire voir dans quelles erreurs on est capable de tomber, lorsqu'on raisonne sur les idées fausses et confuses des sens, et sur les idées vagues et indéterminées de la pure logique. Par là l'on reconnaît assez que, pour conserver l'évidence dans ses perceptions, il est absolument nécessaire d'observer exactement la règle que nous venons de prescrire, et d'examiner quelles sont les idées claires et distinctes des choses, afin de ne raisonner que suivant ces idées[50].

En un sens, Malebranche serait même celui qui pousse le plus

48 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre VI, IIe partie, chap. I (*id.*, *op. cit. in* n. 3, t. II, 296).
49 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre I, chap. II, § III (*id.*, *op. cit. in* n. 3, t. I, 54-55).
50 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre VI, IIe partie, chap. IV (*id.*, *op. cit. in* n. 3, t. II, 321).

loin la métaphore visuelle pour caractériser l'acte du sujet connaissant : la preuve de l'existence de l'être infini procède par simple vue ou d'une « vue immédiate et directe » et c'est en lui que « nous voyons toutes choses [51] ».

Ce dernier point souligne en réalité l'ambiguïté d'un tel vocabulaire, et dès lors du concept d'intuition lorsqu'il s'agit d'en repérer la présence dans les textes de Descartes, de Leibniz ou de Malebranche. La « vision en Dieu », corollaire de la preuve par simple vue, est une thèse anti-cartésienne : l'esprit ne pourrait connaître toutes choses par la *médiation d'idées innées* et c'est la question de la présence de l'infini à l'esprit fini qui est alors en jeu. Il est vrai que Malebranche ne semble pas avoir été d'emblée très au clair sur la manière de la démontrer : à cet égard, les premières versions de la *Recherche de la vérité* juxtaposent deux infinis distincts. Le premier argument consiste en effet à établir le caractère improbable de la création, non pas simplement d'un nombre infini d'idées dans chaque esprit, mais d'une infinité d'infinités, puisqu'il en faudrait une pour chaque esprit créé. Dans un premier temps, Malebranche ne la juge pas impossible, mais contraire à la sagesse divine qui se manifeste par la simplicité de ses voies [52]. Le fait, pour un esprit fini, de contenir ou non des ensembles infinis dénombrables d'idées ne pouvait encore se concevoir qu'à la condition de supposer que les idées, quoiqu'increéées, soient finies et puissent constituer toutes ensemble une collection infinie, hypothèse que Malebranche abandonne dès 1678 [53]. A une telle conception finitiste des idées des choses finies se substitue progressivement le principe de l'idée unique et infinie par elle-même comme condition de possibilité de représentation de toutes les choses finies, et en particulier de tous les corps possibles et existants dans l'étendue intelligible. La vision

51 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre III, II^e^ partie, chap. VII (*id.*, *op. cit. in* n. 3, t. I, 449-450).

52 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre III, II^e^ partie, chap. VI (*id.*, *op. cit. in* n. 3, t. I, 437-438).

53 - M. Guéroult évoquait à cet égard une « constitution progressive de sa théorie des idées », marquée à son origine par une adhésion encore trop forte au cartésianisme, mais qui, quelle que soit la chronologie que l'on décide ici d'adopter, est déjà achevée dans les années 1680 : Martial Guéroult, *Malebranche : La vision en Dieu* (Paris : Aubier, 1955), chap. 3.

en Dieu devient ainsi une forme d'argument transcendantal [54]. L'expression « voir en Dieu » prend alors un nouveau sens, qui coïncide du reste pleinement avec l'émanatisme bérullien dont Malebranche est en partie l'héritier : il ne s'agit plus de la possibilité d'apercevoir en Dieu et à volonté un objet, élément fini de la collection infinie que constitue l'entendement divin, mais de voir par Dieu, c'est-à-dire *d'être affecté* à un certain degré déterminé par Dieu, réalité maximale, toujours présent à notre esprit par son action.

L'égalité mathématique, modèle des vérités éternelles

L'intuition malebranchiste, si l'on entend par là tout acte de l'esprit visant à « voir en Dieu » un quelconque contenu de pensée, est donc d'une nature très particulière, à laquelle se mêlent de manière singulière des éléments causaux, et qui n'est ni cartésienne, ni leibnizienne. Ce qui lui permet toutefois de ne pas basculer dans l'indétermination ni la simple métaphore, c'est la conception de la vérité à laquelle elle se trouve attachée et qui vient l'objectiver.

Il faut donc en revenir à la définition malebranchiste de la vérité ; celle-ci peut sembler à première vue banale, mais demeure en réalité profondément originale :

> La vérité n'est autre chose qu'un rapport réel, soit d'égalité, soit d'inégalité. La fausseté n'est que la négation de la vérité, ou un rapport faux et imaginaire. La vérité est ce qui est : la fausseté ce qui n'est point. On ne se trompe jamais lorsqu'on voit des rapports qui sont, et l'on se trompe toujours quand on juge, qu'on voit certains rapports, et que ces rapports ne sont point ; car alors on voit la fausseté, on voit ce qui n'est point, ou plutôt on ne voit point, puisque le néant n'est point visible, et que le faux est un rapport qui n'est point [55].

54 - Ceci peut être mis en rapport avec la caractérisation de la métaphysique malebranchiste, comme science des conditions générales de la connaissance et de la représentation ordonnée autour de Dieu, dégagée par Jean-Christophe Bardout dans *Malebranche et la métaphysique* (Paris : Presses universitaires de France, 1999).

55 - Malebranche, *De la recherche de la vérité*, livre VI, partie I, chap. v (*id.*, *op. cit. in* n. 3, t. II).

La présence à notre esprit des vérités éternelles est la manifestation de son union à la Raison divine, union affirmée dès les premières lignes de la Préface de la *Recherche de la vérité* : c'est une thématique augustinienne que Malebranche précisera par la suite en distinguant parmi elles les vérités de perfection, d'ordre moral, et les vérités de grandeur, déterminant les rapports quantitatifs entre les idées, elles-mêmes archétypes des choses. Dans tous les cas, et c'est ce qui importe ici, on a affaire à des rapports d'égalité ou d'inégalité, soit de grandeurs mesurables proprement dites, soit de perfection. Malebranche propose ainsi une définition originale de la vérité, ou de la forme de toutes vérités : elles sont donc essentiellement des rapports, exprimant avec exactitude en quoi une chose est meilleure ou plus grande qu'une autre.

Cette définition permet de rendre raison de l'intérêt constant de Malebranche pour le calcul et la pensée algorithmique, et la continuité qu'il conçoit entre l'arithmétique, l'algèbre jusqu'à l'analyse infinitésimale qui visent toutes à établir des égalités de grandeur. Tout commence avec le nombre conçu comme rapport déterminé à l'unité, exprimant exactement l'excès ou le défaut de parties par rapport à elle. Tout nombre, aussi bien naturel que rationnel, est donc un rapport, qui peut du reste être représenté à l'imagination par des lignes [56]. L'algèbre, en remplaçant l'expression numérique par l'expression littérale, généralise alors les rapports particuliers de nombres et ménage encore plus la capacité de l'esprit [57]. Quant à la science des équations, Malebranche semble l'attribuer à l'analyse plus qu'à l'algèbre proprement dite. Le nouveau calcul leibnizien ne ferait alors d'ajouter de nouvelles quantités, de nature infiniment petites, et de nouvelles expressions de ces quantités, qui, comme dans l'analyse cartésienne, peuvent exprimer des éléments déterminants des courbes de la géométrie composée, et à ce titre, doivent être intégrées à des équations qui expriment des problèmes géométriques.

56 - « Toute grandeur étant un rapport, ou tout rapport une grandeur, il est visible qu'on peut exprimer tous les rapports par des chiffres, et les représenter par des lignes. » Malebranche, *op. cit. in* n. 3, t. II, 288.

57 - Malebranche, *op. cit. in* n. 3, t. II, 286.

L'analyse devient dès lors l'art général d'expression et de résolution de tout problème ayant une solution, ou équation, et les calculs algébriques, augmentés de l'algorithme leibnizien, sont à son service. On comprend ainsi comment, dans la *Recherche de la vérité*, l'analyse a pu prendre le relais de l'arithmétique et de l'algèbre et remplir la fonction qui leur avait été attribuée comme voie pour accéder à la perception des relations exactes entre idées.

La définition malebranchiste de la vérité permet alors d'interpréter à nouveaux frais la description de l'expérience de l'évidence : elle est définie comme un acte de l'esprit consistant à considérer toutes les parties et tous les rapports d'un objet de sorte à « porter un jugement assuré » à son propos. Cet acte se manifeste sous la contrainte exercée sur lui par la raison intérieure. L'expérience de l'évidence n'est donc jamais mise en rapport avec l'expérience négative du doute, comme ce à quoi elle résiste, mais avec l'expérience positive de la saisie d'une vérité : l'esprit doit faire cesser l'examen libre des objets auxquels il se rapporte non pas tant lorsqu'il n'a plus aucune raison de douter, mais lorsqu'il aperçoit des « rapports » entre les « parties » des objets considérés qui sont manifestement vrais. De même, c'est la « vision en Dieu » qui s'éclaire : elle ne porte que sur ce qui est réel car ce qui n'est pas ne peut être vu. Elle nous fait donc connaître d'un objet les rapports qui le déterminent, et dès lors toutes sortes d'égalités et d'inégalités qu'il entretient avec d'autres objets.

Ces égalités réelles ou inégalités déterminées permettent de fournir ainsi un critère objectif à l'expérience de l'évidence : là où il y a des rapports réels clairement perçus, il y a des idées claires, par opposition aux notions vides et confuses de la physique et de la logique aristotéliciennes. L'intuition malebranchiste peut donc être caractérisée comme la saisie immédiate d'un donné relationnel ; plus encore, son objet est, dans sa nature, d'ordre arithmético-algébrique, au sens que nous venons de préciser.

Ceci permet de dégager les termes en lesquels analyser la norme malebranchiste du vrai à l'aune de laquelle doit être interrogée la cohérence des choix mathématiques opérés par Malebranche. Cependant, si la description de l'évidence et la définition de la vérité se trouvent répétées à l'identique dans toutes les versions de la *Recherche de la vérité*, la notion d'égalité qui les objective ne s'y trouve jamais précisée, or c'est elle qui fait problème dans les questions autour du fondement du calcul différentiel. Au nom de quoi peut-on affirmer, par exemple, que $d(xy) = xdy + ydx$, et non, selon les règles de l'algèbre relatives au développement d'un produit [58] : $d(xy) = xdy + ydx\ (+\ dxdy)$?

Le calcul infinitésimal exige en effet d'en préciser le sens, et c'est dans ce cadre que Leibniz, en réponses à ses objecteurs, proposait une version élargie de l'égalité, élargie en ce qu'elle s'applique non seulement aux quantités dont la différence est un zéro absolu, mais également à celles dont la différence est moindre que toute grandeur donnée. Ce principe est généralement posé comme une forme d'axiome et dont dérive ce qu'il nomme son « lemme des incomparables [59] ». Celui-ci lui permet de négliger des quantités évanouissantes, ou négligeables, ou incomparables à toute grandeur donnée, selon le vocabulaire qu'il choisit alors d'employer [60]. Ce principe semble conduire à suspendre le principe du tiers exclu : dans le cas des règles du calcul infinitésimal, des quantités évanouissantes qui vont vers l'infini ne sont ni nulles, ni non-nulles puisque non seulement dx peut être négligé par rapport à x mais dx ne peut l'être par rapport à d^2x. Or ce calcul permet précisément de déduire des égalités nouvelles entre grandeurs finies (sous-tangente, quadrature, rectification de courbe), ce qui prouverait la validité de cette définition « élargie » de l'égalité. Leibniz affirme en effet à ses opposants que ce ne sont pas les règles du calcul qu'il faut dès lors contester, mais une définition trop restreinte de l'égalité elle-même, comme il

58 - C'est bien autour de cette question que tourne la querelle de infiniment petits entre partisans et opposants au calcul leibnizien dans les années 1690 et 1700. Sur les aspects théoriques et institutionnels de cette querelle dans le contexte français, cf. Michel Blay, Deux moments de la critique du calcul infinitésimal : Michel Rolle et George Berkeley, *Revue d'histoire des sciences*, 39 (1986), 223-253 ; Paolo Mancosu, The metaphysics of the calculus : A foundational debate in the Paris Academy of sciences, 1700-1706, *Historia mathematica*, 16 (1989), 224-248 ; June Barrow-Green, From cascades to calculus : Rolle's Theorem, *in* Eleanor Robson et Jacqueline Stedall (dir.), *The Oxford handbook of the history of mathematics* (Oxford University Press, 2008), 737-754 ; Bella, *op. cit. in* n. 12.

59 - Leibniz le formule publiquement pour la première fois dans Gottfried Wilhelm Leibniz, Tentamen de motuum caelestium causis, *Acta eruditorum*, 8 (1689), 82-96.

60 - Sur l'identification leibnizienne des infinitésimales à des quantités hétérogènes conçues comme incomparables par degré, voir Sandra Bella, *Magis morale quam mathematicum* : L'attestation volée (mai 1705 – mars 1706), *Studia Leibnitiana*, 51 (2019), 176-202.

l'exprime à Bernard Nieuwentijt (1654-1718) :

> Je juge d'ailleurs que des termes sont égaux non seulement lorsque leur différence est absolument nulle, mais aussi lorsqu'elle est incomparablement petite, et bien qu'on ne puisse dire en ce cas que cette différence soit absolument Rien, elle n'est pourtant pas une quantité comparable à celles dont elle est la différence. Ajoutons à une ligne un point d'une autre ligne, ou une ligne à une surface, nous n'accroissons pas leur grandeur [61].

Malebranche semble s'être pleinement satisfait de ces réponses leibniziennes et de la formulation de l'égalité qu'elles contiennent. L'exposition du calcul différentiel donnée par Reyneau dans l'*Analyse démontrée* en témoigne, qui fait d'une telle définition son principe fondamental, et présenté comme une forme d'évidence implicite dans les méthodes d'exhaustion des Anciens :

> Principe du calcul différentiel pris des anciens géomètres.
>
> C'est une chose ordinaire aux anciens géomètres de regarder deux quantités données comme étant égales quand elles diffèrent moins entr'elles qu'aucune grandeur finie et déterminée, tant petite qu'elle puisse être, en demeurant finie ou bornée.
>
> C'est sur ce principe qu'en concevant des polygones inscrits et circonscrits au cercle, dont les côtés allant en diminuant de plus en plus à l'infini, font que le périmètre et l'aire de ceux de ces polygones qui ont les côtés les plus petits, approchent le plus du périmètre et de l'aire du cercle [62] (...)

En termes géométriques, ceci signifie l'identification possible du courbe au rectiligne, d'un cercle, en particulier, au polygone à une infinité de côtés. Cette identité géométrique devient un corollaire de la définition de l'égalité, tandis que L'Hospital, du reste, fait de cette identité géométrique et de la définition de

61 - Gottfried Wilhelm Leibniz, *Responsio ad nonnullas difficultates, a dn. Bernardo Nieuwentijt circa methodum differentialem seu infinitesimalem motas*, *Acta eruditorum*, juillet 1695 ; trad. par Marc Parmentier, *La Naissance du calcul différentiel : 26 articles des « Acta eruditorum »* (Paris : Vrin, 1989), 324-334.

62 - Charles Reyneau, *Analyse démontrée, ou la méthode de résoudre les problèmes des mathématiques et d'apprendre facilement ces sciences*, 2 t. (Paris : Jacque Quillau, 1708), t. 2 : *Usage de l'analyse*, livre VIII, 2e partie, § 1, **144 ???**.

l'égalité les deux demandes ou suppositions du calcul différentiel qu'il met donc sur le même plan [63]. L'exposition de Reyneau restitue de ce point de vue les principes méthodologiques malebranchistes qui font dépendre les relations géométriques des rapports ou égalités de grandeurs en général.

Quelle instance permet-elle toutefois d'affirmer que ces équations différentielles expriment des égalités réelles, dans la mesure où elles ne peuvent être vérifiées par un nombre fini d'étapes, et semblent contrevenir au principe du tiers-exclu ? Comment expliquer par ailleurs que Reyneau, comme Leibniz, s'appuient alors sur des démonstrations par l'absurde, établissant, à la façon d'Archimède, que deux quantités sont égales si elles ne sont ni supérieures ni inférieures l'une à l'autre ?

Dans le cas leibnizien, on peut estimer, selon la thèse défendue par David Rabouin, que les quantités infiniment petites sont un cas particulier de ces « fictions utiles » qui, pour Leibniz, ne signifieraient rien de plus qu'un mode d'abréviation du discours dans le cadre d'une démonstration que l'on pourrait toujours établir sans elles, notamment en passant par des démonstrations par l'absurde, et sans violer ainsi les principes et axiomes logiques sur lesquels reposent la certitude et dès lors l'exactitude mathématiques [64]. Le calcul différentiel pourrait toujours être interprété ou être paraphrasé en termes finitistes et en conformité avec la logique classique. Il n'y aurait pas, dans l'absolu, de suspension du principe du tiers-exclu mais le choix de procéder à un mode de démonstration direct par passage à la limite dont on affirme dans ce contexte que l'erreur, c'est-à-dire la différence entre la grandeur recherchée et celle qui est calculée, est aussi petite que l'on veut. Il n'est alors pas question de postuler

63 - Guillaume de L'Hospital, *Analyse des infiniment petits pour l'intelligence des lignes courbes* (Paris : Imprimerie royale, 1696), 1-2. Du reste, l'identité géométrique se trouve déjà formulée par L'Hospital dans ses méthodes de tangentes que Costabel regroupe dans le chapitre qu'il nomme « Initiatives de réforme (1690-1692) » et qui comporte un commentaire autographe de Malebranche sur la notion de courbe : Malebranche, *op. cit. in* n. 3, t. XVII-2, 22. En 1690, la courbe est identifiée à un polygone à une infinité de côtés *égaux* ; il n'est ensuite question que d'une infinité de lignes infiniment petites.

64 - David Rabouin, Infini mathématique et infini métaphysique : D'un bon usage de Leibniz pour lire Cues, *Revue de métaphysique et de morale*, 2011/2 (2011), 203-220 ; *id.* et Richard T. W. Arthur, Leibniz's syncategorematic infinitesimals II : Their existence, their use and their role in the justification of the differential calculus, *Archive for history of exact sciences*, 74 (2020), 401-443.

un infini actuel échappant difficilement à la contradiction, mais d'opérer dans le cadre d'un infini « syncatégorématique ».

La vérité de ce nouveau calcul se trouverait ainsi sauvée, dans la mesure où il se conforme à la norme du vrai fondée sur les principes de la logique ou lois éternelles du raisonnement. Ceci est essentiel à Leibniz dans la mesure où la vérité conserve pour lui une structure logique et prédicative qu'il va s'employer à perfectionner par l'analyse des différentes modes de rapports des concepts entre eux [65]. De ce point de vue, l'opposition à Descartes est manifeste, et peut se formuler dans les termes d'un dogmatisme logique irréductible aux positions intuitionnistes cartésiennes.

Faut-il alors attribuer à Malebranche un leibnizianisme ainsi compris ? Il est vrai que dans l'*Analyse démontrée*, Reyneau, à des fins essentiellement pédagogiques, reprend l'argument selon lequel les résultats du calcul infinitésimal ne font que calculer plus directement et rapidement des valeurs qui pourraient être démontrées par double réduction à l'absurde [66]. Il ne se contente toutefois pas de cette seule justification opératoire, et s'emploie à faire reposer cette définition de l'égalité sur laquelle s'appuient les algorithmes de l'analyse sur une intuition qui est en définitive celle du mouvement et qui nous donne la réalité du continu, au-delà des contradictions logiques auxquelles sa notion conduit :

> Seconde définition. L'augmentation ou la diminution infiniment petite que reçoit une quantité changeante à chaque instant par une vitesse quelconque, dans la formation d'une ligne ou d'une figure, est ce qu'on appelle une *différence*. Les lignes changeantes droites et courbes sont marquées par les lettres des inconnues x, y, z, u, etc. et les lignes constantes par les lettres connues a, b, c, etc., et l'on se servira de la lettre d

65 - Sur ces différentes tentatives, voir Jean-Baptiste Rauzy, *La Doctrine leibnizienne de la vérité : Aspects logiques et ontologiques* (Paris : Vrin, 2001). Rappelons la définition leibnizienne de la vérité à laquelle il ne semble jamais avoir dérogé : « (...) toujours, dans toute proposition affirmative véritable, nécessaire ou contingente, universelle ou singulière, la notion du prédicat est comprise en quelque façon dans celle du sujet ; *praedicatum inest subjecto* ; ou bien je ne sais ce que sais ce que c'est que la vérité. » À Arnauld, lettre du 4-14 juillet 1686, *in* Leibniz, éd. Gerhardt, *op. cit. in* n. 26, vol. II, 56.

66 - Reyneau, *op. cit. in* n. 62, t. II, préface, XIII-XIV.

> pour marquer les différences ; ainsi dx sera la différence de la ligne changeante x ; dy sera la différence de la ligne changeante y ; et ainsi des autres [67].

Dès lors, le calcul est vrai, non pas tant parce qu'il pourrait être réduit à des démonstrations consistant à comparer des grandeurs finies auxquelles s'appliquent alors la logique classique et les théorèmes euclidiens, mais parce qu'elle soumet ses objets – les grandeurs continues saisies intuitivement – à la structure d'ordre mathématique et non proprement logique du vrai, c'est-à-dire à des rapports réels d'égalité ou d'inégalité. En définitive, Malebranche, par la voix de Reyneau, semble faire reposer ces nouvelles égalités que dégage le calcul différentiel sur une forme d'intuition pure du continu, et à l'égard de laquelle le principe du tiers-exclu ne peut s'appliquer. Elle s'objective dans les rapports d'égalité exprimés par les équations de tangentes, quadratures, rectifications, etc., qui la supposent. C'est à ce niveau que l'écart à l'égard de la théorie cartésienne finitiste des idées claires et distinctes se produit, sous couvert d'un recours partagé à un donné intuitif et prélogique. En ce sens, Malebranche pourrait bien être en réalité le Leibniz reconstitué par Belaval : c'est la nature du continu, tel qu'il se donne nécessairement à penser, qui impose la suspension du tiers-exclu.

La pratique mathématique de Malebranche est donc régie par une véritable cohérence interne. Que nous apprend-elle alors de la conception malebranchiste du vrai ? Elle est certainement anti-logiciste : les principes logiques accompagnent généralement la pensée de ce qui est vrai, mais ne fondent pas sa vérité elle-même ; encore moins relève-t-elle de conventions linguistiques. Ceci, on l'a vu, n'est en rien incompatible avec le recours à une forme de pensée aveugle, pour autant qu'elle permet d'accéder à la saisie de rapports d'égalités ou d'inégalités.

67 - Reyneau, *op. cit. in* n. 62, t. II, 152. La définition en tant que telle ne renvoie à aucune figure, mais elle se poursuit avec son explicitation illustrée par la figure 42 décrivant la manière dont les différentielles peuvent être conçues comme engendrées par le mouvement de deux lignes. D'une manière plus générale, sur les différents appels à l'intuition spatio-temporelle de l'*Analyse démontrée* pour justifier le calcul leibnizien, voir Claire Schwartz, Les premières tentatives françaises d'enseignement du calcul leibnizien au XVIII^e siècle, *in* Wenchao Li, Charlotte Wahl, Sven Erdner, Bianca Carina Schwarze, Yue Dan (dir.), *« Le présent est plein de l'avenir, et chargé du passé » : Vorträge des XI. Internationalen Leibniz-Kongresses* (Hanovre : Wehrhahn Verlag, 2023), vol. 3, 269-281.

Peut-on pour autant lui appliquer la catégorie d'intuitionniste, dans son opposition à un dogmatisme de la vérité ? La méthode malebranchiste de découverte de la vérité semble devoir assez clairement être caractérisée comme intuitionniste : elle doit se fonder entièrement sur l'expérience du vrai objectivée dans des rapports d'égalité, et dès lors, s'il faut choisir entre l'intuition mathématique de la grandeur et la cohérence logique, c'est la première qui donne la condition du vrai ; c'est en sens que nous interprétons sa justification du calcul infinitésimal. Si, par ailleurs, Malebranche affirme la nature increée de la Raison divine et des vérités qui se trouvent pensées de toute éternité, cette Raison mathématique ne semble pas déplier le labyrinthe du continu dans laquelle elle se trouve installée.

VARIA

Is Cuvier's notion of perfection paradoxical? *

Jitse M. van der Meer **

Summary: Georges Cuvier (1769–1832) described some organisms as more perfect than others which he also considered as perfect. Tobias Cheung (2001) argued that the logic of Cuvier necessitates the paradox of the organization of a living being which is both perfect and not perfect. I offer two reasons why this conclusion does not follow. First, perfection of animal organization came in degrees rather than in an all-or-none fashion. Second, Cuvier used the notion of perfection to refer to the anatomical complexity of animal organization. Since complexity came in degrees, so did perfection. Therefore, there is no paradox. The relative character of both perfection and complexity are explained as a result of Cuvier's comparative method.

Keywords: Georges Cuvier; perfection; paradox; animal organization.

Résumé : *Georges Cuvier (1769-1832) décrit certains organismes comme plus parfaits que d'autres qu'il considère également comme parfaits. Tobias Cheung (2001) soutient que la logique de Cuvier nécessite le paradoxe d'une organisation vivante qui est à la fois parfaite et imparfaite. J'offre deux raisons pour lesquelles cette conclusion ne suit pas. Premièrement, la perfection de l'organisation animale s'est faite par degrés plutôt que par tout ou rien. Deuxièmement, Cuvier utilise la notion de perfection pour désigner la complexité anatomique de l'organisation animale. Puisque la complexité se faisait en degrés, la perfection aussi. Il n'y a donc pas de paradoxe. Le caractère relatif de la perfection et de la complexité s'explique grâce à la méthode comparative de Cuvier.*

Mots-clés : *Georges Cuvier ; perfection ; paradoxe ; organisation animale.*

* This study was funded by a grant from the Jackman Foundation, Toronto, to the Pascal Centre at Redeemer University. I thank Redeemer University for a Pascal Centre fellowship and Philippe Taquet for comments on the manuscript. Translations in this paper have the original French footnoted so my interpretation can be tested.

** Jitse M. van der Meer, The Pascal Centre, Redeemer University, Hamilton, Ontario, Canada. Email: jitsevandermeer@gmail.com.

Introduction

Georges Cuvier (1769–1832) wrote that some organisms are more perfect than other organisms which he also considered as perfect. Tobias Cheung argues that this creates a paradox. [1]

> The paradox first manifests itself at the grammatical level. In his work, Cuvier often resorts to the expression of an organization which is "more than perfect." This expression is a superlative put in comparison. Some animals are more perfectly organized than others. He also speaks of the "most perfect" animals. This is the superlative of a superlative. These expressions are not only frequent, they also appear systematically in the same place in Cuvierian discourse (14). A double superlative is an expression which implies its own negation: a thing which is "more perfect" than another is a thing which is at the same time as perfect and more perfect than the other. So the other one is not perfect. But the other is perfect enough to be compared with something that is more perfect than its own perfection. This is the paradox. [2]

While Cheung formulates the paradox grammatically in this passage, he infers there is a logical issue.

> Our research therefore focuses on the logic of life in Cuvier's work. More concretely, it is the logic of Cuvier which necessitates the paradox of a living organization which is both perfect and not perfect. [3]

1 - Tobias Cheung, Cuvier et la perfection du parfait / Cuvier and the perfection of the perfect, *Revue d'histoire des sciences*, 54 (2001), 543–554.

2 - Cheung, op. cit. in n. 1, 544–545: *Le paradoxe se manifeste d'abord au niveau grammatical. Dans son oeuvre, Cuvier recourt souvent à l'expression d'une organisation qui est «plus que parfaite». Cette expression est un superlatif mis au comparatif. Certains animaux sont «plus parfaitement organisés» que les autres. Il parle aussi des animaux «les plus parfaits». C'est là le superlatif d'un superlatif. Ces expressions ne sont pas seulement fréquentes, elles se manifestent aussi systématiquement à la même place dans le discours cuviérien (14). Un superlatif redoublé est une expression qui implique sa propre négation : une chose qui est «plus parfaite» qu'une autre est une chose qui est en même temps aussi parfaite et plus parfaite que l'autre. Donc l'autre n'est pas parfaite. Mais l'autre est assez parfaite pour être comparé avec une chose qui est plus parfaite que sa propre perfection. Voilà le paradoxe.* The reference (14) within the citation is to Cuvier, op. cit. in my n. 13, 1st ed., vol. 2, 94–95, 538, 579; Cuvier, op. cit. in my n. 18, vol. 1, xx; Georges Cuvier, "Nature," in *Dictionnaire des sciences naturelles*, ed. F.-G. Levrault, vol. 34 (Paris: Levrault, 1825), 265.

3 - Cheung, op. cit. in n. 1, 545: "Notre recherche porte donc sur la logique du vivant dans l'œuvre de Cuvier. Plus concrètement, c'est la logique cuviérienne qui rend nécessaire le paradoxe d'une organisation vivante qui est à la fois parfaite et non parfaite."

In what follows I agree with Cheung that Cuvier used the double superlative expression *plus parfait*. But I take issue with the logic of Cheung's argument. My thesis is that perfection came in degrees rather than in an all-or-none fashion, and that, therefore, there is no paradox. I begin with an analysis and assessment of Cheung's claim. Then follows a review of what Cuvier wrote about perfection and a discussion.

Analysis and assessment of Cheung's claim

Cheung assumes that Cuvier used perfection in an all-or-none fashion. I illustrate this with three passages. Referring to the alleged paradox in the logic of Cuvier, Cheung writes,

> This paradox is that of a hierarchy of perfection of organisms already perfectly organized and adapted to their environment. [4]

Since Cheung mentions a hierarchy of *organisms*, not of organs, I take him to refer to the hierarchy of organisms in the hierarchy of being, not the hierarchy of organs in the subordination of organs. Given that Cuvier rejected the chain of being this passage cannot show that Cuvier committed a paradox. Further, Cheung writes,

> In Cuvier's deep anatomy, life reveals itself to be an organized being which represents "a unique and closed system, whose parts correspond mutually and contribute to the same definitive action through a reciprocal reaction (21)." This system is unique and closed as the sine qua non condition of its power to exist; it must already be complete to be what it is. In this sense, the organized being is always perfectly organized. It is perfect in itself. [5]

4 - Cheung, op. cit. in n. 1, 544: *Ce paradoxe est celui d'une hiérarchie de perfection des organismes déjà parfaitement organisés et adaptés à leur environnement.*

5 - Cheung, op. cit. in n. 1, 546: *Dans l'anatomie profonde de Cuvier, la vie se révèle un être organisé qui représente «un système unique et clos, dont les parties se correspondent mutuellement et concourent à la même action définitive par une réaction réciproque (21)». Ce système est unique et clos comme la condition sine qua non de son pouvoir d'exister; il doit être déjà complet pour être ce qu'il est. Dans ce sens, l'être organisé est toujours parfaitement organisé. Il est parfait en lui-même.* The reference (21) within the citation is to Georges Cuvier, Discours préliminaire, in idem, *Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes, où l'on rétablit les caractères de plusieurs espèces d'animaux que les révolutions du globe paroissent avoir détruites* (Paris: Deterville, 1812), vol. 1, 58 (Cheung refers to p. 97 in a different edition).

Thus, Cheung defines "perfection" in terms of the mutual interactions of organs functioning normally. He locates perfect organization in the completeness of the system of correlated parts. I assume that Cheung was aware of the many descriptions of rudimentary or vestigial organs by Cuvier. Therefore, I take it that Cheung is not attributing completeness to the set of organ correlations because the presence of a vestige of an organ makes the organization incomplete. That leaves the conclusion that the existence of an organism led Cheung to the conclusion that the organism is complete because it has satisfied the conditions for its existence. Cheung confirms my conclusion when he wrote,

> The body system therefore first presents itself as unique and closed in its mutual correspondence of organs because this is the condition of its power to exist. It must be complete to become what it already is. To live is to repeat an order. In this sense, the organized being is always perfectly organized. [6]

I take Cheung's rendition of Cuvier as follows. Given that an organism exists, its mutual correspondence of organs is complete because it satisfies the conditions for this existence. Therefore, it cannot be more complete than itself because it already is complete in this sense. Reproduction is the manifestation of this completeness because it produces an organism with the same completeness. Cheung's reading of Cuvier implies also that an organism cannot be more complete than any other organism because they also satisfy the conditions for their existence. Since Cuvier has written that an organism can be the most perfect, Cheung thinks Cuvier contradicts this implication. That is, Cuvier committed a paradox because all other organisms already are the most perfect. So far my analysis of Cheung's claim.

I agree with Cheung that Cuvier uses the double superlative grammatical construction (*les plus parfaits*), i. e., the superlative of a superlative, in passages in which he compared the anatomical structures of various animals. But I suggest the logical inference of a paradox does not follow. First, the grammatical construction is a way to place emphasis. It does not imply

6 - Cheung, op. cit. in n. 1, 547: *Le système du corps se présente donc d'abord unique et clos dans sa correspondance mutuelle des organes parce que c'est la condition de son pouvoir d'exister. Il doit être complet pour devenir ce qu'il est déjà. Vivre, c'est répéter un ordre. Dans ce sens, l'être organisé est toujours parfaitement organisé.*

a logical error. True, Ann Batko and Edward Rosenheim [7] as well as Roswell Chamberlain Smith [8] reject the comparative and superlative forms "more perfect" and "most perfect" as grammatically incorrect and logically impossible because they consider perfection as an absolute state. As Stephen Spector notes, "Logically, if something really is perfect it can't get any better..." [9] This is Cheung's view of Cuvier's expression "most perfect" as a double superlative. Cheung assumes that perfect is an absolute state and, therefore, nothing can be more perfect than perfect. The question is whether Cuvier used "most perfect" as an absolute state. Below I will argue that the answer is no. Cuvier used it in a comparison of more than two animals, in which their organization can be said to be less perfect, more perfect and most perfect. This usage was common at least among natural historians in the Cuvier era including Georges Louis Leclerc, comte de Buffon and Jean Baptiste Pierre de Monet de Lamarck. [10] The *plus parfait* is also encountered in correspondence and literature at the time. [11] Spector notes that even "... since the fourteenth century, people have compared degrees of perfection." [12] Hence, it is perfectly possible that Cuvier used the double superlative for emphasis.

7 - Ann Batko and Edward Rosenheim, *When Bad Grammar Happens to Good People: How to Avoid Common Errors in English* (Franklin Lakes, N. J.: Career Press, 2004), 136.

8 - Roswell Chamberlain Smith, *English Grammar on the Productive System: A Method of Instruction Recently Adopted in Germany and Switzerland, Designed for Schools and Academies*, Stereotype ed. (Hartford: D. Burgess & co., 1843 [1832]), 144.

9 - Stephen Spector, *May I Quote You on That? A Guide to Grammar and Usage* (Oxford University Press, 2015), 161.

10 - *Plus parfait* is used by Georges Louis Leclerc, comte de Buffon, *Histoire naturelle des oiseaux* (Paris: Imprimerie royale, 1770), vol. 1, 5, 8; and idem, *Histoire naturelle des minéraux* (Paris: Imprimerie royale, 1783), vol. 2, 463, 497; both in idem, *Histoire naturelle, générale et particulière: Avec la description du cabinet du roy*, 43 vol. (Paris: Imprimerie royale, 1749–1803 or 1804), vol. 16 (= Oiseaux I) and 26 (= Mineraux II); Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet de Lamarck, *Philosophie zoologique: Ou exposition des considérations relative à l'histoire naturelle des animaux* (Paris: Dentu et L'Auteur, 1809), vol. 1, 86, 110, 203, 204, 334.

11 - See, for instance, the expression *très parfaitement* in a letter by the bishop of Mâcon, dated May 18, 1774 in Edmond de Goncourt and Jules de Goncourt, *L'Art du XVIIIe siècle* (Paris: Charpentier, 1882), 427. Further, the Littré notes: *On a dit que parfait, étant un adjectif absolu, rejette toute modification en plus ou en moins. Cela ne se soutient pas devant l'usage: on trouve dans les exemples: très parfait, le plus parfait (...) moins parfait, plus parfait.* Émile Littré, "parfait," in idem, *Dictionnaire de la langue française* (Paris: Hachette, 1873–1874), vol. 3, 951.

12 - Spector, op. cit. in n. 9.

Second, Cheung views an organism as complete if it satisfies the conditions for its existence. But this entails that all organisms are complete because they exist which trivializes the notion of completeness. For instance, in this way a polyp would be as complete as a human because the existence of each shows that they both satisfy the conditions for their existence. Cheung appears to relativize completeness which is inconsistent with the absolute fashion in which he uses the notion of completeness. Third, in one of Cheung's examples of Cuvier's use of the double superlative, Cuvier was not comparing animals, but divinities with humans. Cuvier wrote that the ancients, not himself, placed humans among "the most perfect" beings. [13] It would be bizarre to assume that Cuvier the empiricist would even consider comparing the anatomical structure of divinities with those of animals. Rather, this is a comparative superlative used for emphasis, not a superlative of a superlative as Cheung asserts. In conclusion, Cheung's arguments in support of a paradox in Cuvier's use of the double superlative *les plus parfaits* are not convincing. Nevertheless, it may still be the case that in using the double superlative Cuvier did commit a logical error. To explore that possibility I will now review what Cuvier said about perfection.

What Cuvier said about perfection

Five categories can be discerned in what Cuvier said about perfection.

Organs were said to be more or less perfect with no reference to organization

The examples below show that according to Cuvier organs can be more or less perfect, that explicit or implicit comparison of organs is the basis for this assessment of perfection and, thus that perfection can be relative. In this category perfection is not associated with the notion of animal organization.

13 - Georges Cuvier, *Leçons d'anatomie comparée*, 5 vol., 1st ed., ed. by C. Duméril (vol. 1–2), C. L. Duvernoy (vol. 3–5) (Paris: Baudouin, 1800–1805), vol. 2, 6; 2nd ed. (Paris: Crochard et Cie, 1835–1846), vol. 2, 162.

Examples of explicit comparison indicating degrees of perfection include the following. Chewing in rodents is less perfect than in other mammals because they have only two incisors separated by a large empty space from the molars.

> The animals we are going to talk about have even *less perfect chewing*: two very large and above all very long incisors in each jaw, separated from the molars by a large empty space, can hardly grasp a living prey or to tear flesh; they cannot even cut food: but they are used to file them, to reduce them by continuous work into loose molecules, in a word to gnaw them. Hence the name rodents given to these mammals. [14]

Cuvier observed that some ducks have their feet more perfectly webbed than others. [15] The clavicle (wishbone) is more rudimentary in flightless birds than in birds that fly. [16] Cuvier described the legs of the larvae of Orthoptera and Hemiptera as being as perfect as those of the perfect mature insect. Other parts of the larva of Orthoptera (incomplete metamorphosis) and of Hemiptera (no metamorphosis) are imperfect. [17] Thus, Cuvier applied the notion of perfection also to a body part even if the body as a whole is not perfect. The basis for these assessments by Cuvier was an explicit comparison of organs between mammals, between ducks, between birds, and between stages of insect development. They show that perfection can be relative. I will return to insect metamorphosis to highlight two different aspects of perfection.

Comparison can be implicit. For instance, Cuvier made an implicit comparison with other vertebrates when he wrote that the pelvis of two sub-genres of a snake Family is imperfect (*im-*

14 - Georges Cuvier, *Tableau élémentaire de l'histoire naturelle des animaux* (Paris: Baudouin, 1798), 128: *Les animaux dont nous allons parler ont une mastication encore moins parfaite : deux très-grandes et surtout très-longues incisives à chaque mâchoire, séparées des molaires par un grand espace vuide, ne peuvent guère saisir une proie vivante ni déchirer de la chair ; elles ne peuvent même pas couper des alimens : mais elles servent pour les limer, les réduire par un travail continu en molécules déliées, en un mot pour les ronger. De là vient le nom de rongeurs qu'on a donné à ces mammifères.*

15 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 266.

16 - Cuvier, op. cit. in n. 13 (1st ed., vol. 1, 244, 250) describes the clavicle alternatively as rudimentary for birds (*le clavicule, qui en et comme un rudiment*, 250) and perfect for rodents (*la clavicule est parfaite*, 244) indicating that Cuvier considers these adjectives as synonyms.

17 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 624.

parfait).[18] Further, Cuvier described ruminants as having two hooves per leg and two small imperfect spurs that do not touch the ground. He did not call them rudiments and did not identify the spurs as two separate rudimentary toes (digits 2 and 5).[19] Cuvier did not compare the spurs explicitly with other parts. But his assessment of imperfection indicates he is using an implicit comparison with the toes of other vertebrates. Implicit comparison is also in the background when Cuvier assumed that the tongue of birds cannot be very perfect because it is covered by hard skin and their mouth is callous.[20] In sum, explicit or implicit comparison of organs was the basis for this assessment of perfection. It too shows that perfection can be relative.

Organs were said to be more or less perfect with reference to organization

In the section on molluscs, Cuvier noted that the *organization* of the cephalopod eye "is almost as *perfect* as that of the eyes of red-blooded animals."[21] Here, Cuvier explicitly used perfection to characterize the *organization* of an animal organ.

Organisms can be more or less perfect

According to Cuvier not only organs, but also entire organisms can be more or less perfect. For instance, he considered molluscs more perfect than other invertebrates. In his classification of in-

18 - Georges Cuvier, *Le Règne animal distribué d'après son organisation pour servir de base à l'histoire naturelle des animaux et d'introduction à l'anatomie comparée*, 4 vol. (Paris: Déterville, 1817), vol. 1, 2 and 4 by Cuvier and vol. 3 by P. A. Latreille), vol. 2, 60.

19 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 156. Cattle, sheep, goats, and pigs are cloven-footed animals, meaning that the hoof consists of two digits, instead of one solid entity like that of a horse. The two digits are analogous to the third and fourth fingers of the human hand. Victor Cox, Tina Clarkson, Abby Brown, and Thomas F. Fletcher, "Ungulate Anatomy Dissection Labs Preview / Review," website for veterinary students studying ungulate anatomy at the University of Minnesota, accessed 29 February, 2024: http://vanat.cvm.umn.edu/ungDissect/Lab04/Lab04.html.

20 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 184.

21 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 379.

vertebrates he distinguished two sets of three Classes each.[22] Then Cuvier combined the two sets in a list of six Classes in this sequence: molluscs, crustaceans, insects, worms (*vers*), echinoderms, and zoophytes and commented that this exact order indicates their different degrees of perfection.[23] Thus, Cuvier attributed degrees of perfection to entire classes of organisms and, thus, to entire organisms. This time, Cuvier based his assessment of perfection on an explicit comparison of whole organisms, not on their parts. Once again, perfection can be relative.

Contexts in which perfection referred to complexity or degree of organization

Cuvier associated degrees of perfection with complexity of organization of the circulatory as well as the nervous system. This emerges in the context of his classification of invertebrates. In it Cuvier (May 10, 1795, op. cit. in n. 22, 388) first distinguished three divisions of invertebrates based on the circulatory system: (1) complete circulation, heart and gills, (2) dorsal vessel, trachea, (3) no heart, no blood vessels, no respiratory organ. Next Cuvier (ibid., 390) added three divisions of invertebrates based on the organization of the nervous system: centralized, ventral nerve cord and diffuse. Then, expanding on the heart, Cuvier wrote that it is the *most perfect* in division (1) and the *least perfect* in division (3). He observed further:

> In the organization of the heart, we easily felt that the first division was the most perfect, and that the third was the least. *We will see the same thing, regarding the brain.* Indeed, if we go back to the classes of animals. with red blood, we will see that as they decline in perfection, the medullary masses become detached and separate: thus, in man, the brain is gathered and concentrated into a kind of globe. This globe extends into quadrupeds

22 - Georges Cuvier, Mémoire sur la structure interne et externe, et sur les affinités des animaux auxquels on a donné le nom de vers; lu à la société d'Histoire-Naturelle, le 21 Floréal de l'an 3, *La Décade philosophique, littéraire et politique*, 5 (May 10, 1795), 385–396, see p. 390; Georges Cuvier, Second mémoire sur l'organisation des animaux à sang blanc, dans lequel on traite de la structure des mollusques et de leur division en ordre, lu à la Société d'histoire naturelle de Paris, le 11 prairial, an troisième, par G. Cuvier, professeur d'histoire naturelle, *Magazin encyclopédique*, 1/2 (May 30, 1795), 433–449, see p. 433.

23 - Cuvier (May 10, 1795), op. cit. in n. 22, 394.

> and birds. In fish, the different bulbs, far from overlapping, are all very separate and visibly distinct. In the cuttlefish we find four masses already quite distant; in insects, they are equally distributed along the length of the marrow; finally, in polyps, the diffusion is excessive: the marrow is spread everywhere; it no longer has a common meeting center; also each part is, so to speak, as much an animal as the whole can be. [24]

In these three divisions Cuvier associated the degree of perfection of the circulatory system with the degree of its organization. Moreover, he saw the same association between the degree of perfection of the brain and the degree of its organization. Thus, for both the circulatory and the nervous system Cuvier associated degrees of perfection with degrees of anatomical organization. The comparison of the anatomy of the circulatory and nervous systems between the three taxonomic divisions indicates that degrees of organization refers to complexity of anatomical organization.

In his introduction to the first volume of the *Anatomie comparée* Cuvier described for Jean-Claude Mertrud the merits of the collection at the Museum of Natural History at Paris.

> Today this collection ... surpasses all those that exist of its kind; ... it presents ... all the parts of the animal body taken, from the most distant species, from those which come closest to man by their *perfection*, up to those where we only see a barely *organized pulp*, simple comparative anatomy has almost become a game: it only takes a glance to see the variations, the successive degradations of each organ; and if the effects that these organs produce are not yet explained, it is because there is in living bodies something more than these fibers – than these tissues which

24 - Cuvier (May 10, 1795), op. cit. in n. 22, 391: *Dans l'organisation du cœur, on a senti sans peine que la première division était la plus parfaite, et que la troisième l'était le moins.* Nous allons voir la même chose, quant au cerveau. *En effet, si nous remontons aux classes d'animaux à sang rouge, nous verrons qu'à mesure qu'ils baissent en perfection, les masses médullaires se détachent et se séparent : ainsi, dans l'homme, l'encéphale est rassemblé et concentré en une espèce de globe. Ce globe s'alonge dans les quadrupèdes et les oiseaux. Dans les poissons, les différens bulbes, bien loin de se recouvrir, sont tous très-séparés, et visiblement distincts. Dans les seiches, nous trouvons quatre masses déjà assez distantes ; dans les insectes, elles sont également réparties sur la longueur de la moelle ; enfin, dans les polypes, la diffusion va à l'excès : la moëlle est répandue partout ; elle n'a plus de centre commun de réunion ; aussi chaque partie est-elle, pour ainsi dire, autant un animal, que le peut être le tout.* Emphasis mine.

> strike our eyes. [25]

While humans were the standard of perfection here, my point is that perfection referred to *degree of organization*.

We encounter the same link between degrees of perfection and organization in the Preface of the first volume of the *Règne animal*. [26] Further, in his introduction to the first volume of the *Règne animal*, Cuvier offered a quick review of the intellectual functions of animals.

> The impression of external objects on the self, the production of a sensation, of an image, is an impenetrable mystery for our mind, and materialism [is] a hypothesis all the more risky since philosophy cannot provide any direct proof of the effective existence of matter. But the naturalist must examine what the material conditions of sensation appear to be; he must follow the subsequent operations of the mind, recognize to what extent they rise in each being, and ascertain whether there are not yet conditions of perfection for them dependent on the organization of each species or on the momentary state of the body of each individual. [27]

Cuvier acknowledged that there are material conditions for sensation and that the operations of the mind follow upon sensation. The latter implies that Cuvier acknowledged that the material conditions for sensation are also the material conditions

25 - Cuvier, op. cit. in n. 13, vol. 1, ii: *Aujourd'hui que cette collection, enrichie par une administration sage et par un travail assidu, surpasse toutes celles qui existent dans son genre ; aujourd'hui qu'elle présente, dans le plus bel ordre et dans le plus grand développement, toutes les parties du corps animal prises, dans les espèces les plus éloignées, depuis celles qui s'approchent le plus de l'homme par leur perfection, jusqu'à celles où l'on n'apperçoit plus qu'une pulpe à peine organisée, la simple anatomie comparée est presque devenue un jeu : il suffit d'un coup-d'œil pour appercevoir les variations, les dégradations successives de chaque organe ; et si les effets que ces organes produisent ne sont pas encore expliqués, c'est qu'il y a dans les corps vivans quelque chose de plus que ces fibres que ces tissus qui frappent nos yeux.*

26 - Cuvier, op. cit. in n. 18, vol. 1, xx: text cited below in n. 59.

27 - Cuvier, op. cit. in n. 18, vol. 1, 47–48: *L'IMPRESSION des objets extérieurs sur le MOI, la production d'une sensation, d'une image, est un mystère impénétrable pour notre esprit, et le matérialisme une hypothèse d'autant plus hasardée que la philosophie ne peut donner aucune preuve directe de l'existence effective de la matière. Mais le naturaliste doit examiner quelles paraissent être les conditions matérielles de la sensation ; il doit suivre les opérations ultérieures de l'esprit, reconnaître jusqu'à quel point elles s'élèvent dans chaque être, et s'assurer s'il n'y a pas encore pour elles des conditions de perfection dépendantes de l'organisation de chaque espèce ou l'état momentané du corps de chaque individu.*

for the operations of the mind.

Cuvier encouraged research into whether there are conditions for the *perfection of these operations that depend on the organization* of each species. He was referring to the *material* organization of each species because he considered it possible that conditions of perfection depend on the *body* of an individual animal. This implies that there are material conditions for the perfection of the operations of the mind. I read Cuvier here as allowing for mental operations to depend on material conditions without reducing them to material operations. Further, memory was a corporeal faculty that varies with age and health. The perfection of memory was defined as the order, extent and retrieval speed of associated ideas. [28] Cuvier did not use the term complexity. But dependence of mental processing on the material organization of each species as well as perfection of memory defined as order and speed of mental operation imply complexity of material organization. This indicates that Cuvier did relate degree of perfection to complexity of body organization.

Perfection is measured by comparison with a standard

Above we have already seen Cuvier taking humans as the standard of perfect organization. [29] Similarly, Cuvier illustrated the highest degree of perfection of the human body by characterizing the opposable thumb in humans as the highest degree of perfection of hands. [30] But there is more to be learned. Consider first another example of how degrees of perfection is associated with degrees of complexity in animal organization. In the introduction to the *Tableau*, Cuvier made the organization of the human body the *standard* for comparing the degrees of simplicity of other organisms:

> With regard to structure, organized bodies vary infinitely by the number of their fluids, the shapes, the nature, the relationships of their solids. We will see in man an example of the most perfect and complicated organization, and we will follow in other

28 - Cuvier, op. cit. in n. 18, vol. 1, 49.
29 - Cuvier, op. cit. in n. 13, vol. 1, ii.
30 - Cuvier, op. cit. in n. 18, vol. 1, 78–79.

> animals the different degrees by which they approach more or less simplicity. [31]

This applies to the human organism as a whole. But when it comes to its parts animal parts may serve as the standard for assessing perfection. The part in question is the human coccyx. Cuvier reported:

> The lumbar vertebrae do not have ribs. The sacral bones are welded into a single piece called the sacrum bone, to which the hip bones are attached. The coccygeal vertebrae are an *imperfect representation* of the tail of quadrupeds, and form this protuberance called the rump or coccyx. [32]

Here, the tail of the non-human quadrupeds served as the *standard* for establishing the imperfection of the coccygeal vertebrae in humans. So Cuvier appears willing not to take the human body as a whole as a standard for perfection without further qualification. If in his judgement the most fully developed state of a part exists in a non-human quadruped, he was prepared to accept it as a standard for assessing the perfection of the corresponding human part. Further, this is also the second time that Cuvier considered the relative perfection of a part – the coccyx – independently of the whole human body. We have encountered the reverse attribution of relative perfection to a body part irrespective of the imperfection of the remainder of the body. This was when according to Cuvier the larvae of Lepidoptera and Coleoptera have imperfect legs compared with the mature insect.

After establishing their method of ranking the value of organs for their new classification of the mammals, Étienne Geoffroy Saint-

31 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 6: *À l'égard de la structure, les corps organisés varient à l'infini par le nombre de leurs fluides, les formes, la nature, les rapports de leurs solides. Nous verrons dans l'homme un exemple de l'organisation la plus parfaite et la plus compliquée, et nous suivrons dans les autres animaux les différens degrés par lesquels ils se rapprochent plus ou moins de la simplicité.* See also p. 83. In *Règne*, op. cit. in n. 18, vol. 1, 78–79, Cuvier supplies an example of this approach by characterizing the opposable thumb in humans as the highest degree of perfection of hands.

32 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 36: *Les vertèbres lombaires ne portent point de côtes. Les sacrées sont soudées en une seule pièce nommée os sacrum, à laquelle s'attachent les os des hanches. Les vertèbres coccygiennes sont une représentation imparfaite de la queue des quadrupèdes, et forment cette protubérance qu'on nomme le croupion ou le coccyx.*

Hilaire (1772–1844) and Cuvier introduced organs of primary rank (reproduction, circulation), secondary rank (nutrition) and tertiary rank (sensation).[33] The latter were divided in passive and active senses with the latter designated as the most perfect among the organs of sense. Then they used degrees of perfection of the sense organs of touch for further classification. Cuvier *measured the degree of perfection* as the number and mobility of the fingers and the depth of hooves or claws which are barriers to sensation.[34] This resulted in three divisions (*embranchements*): mammals with pectoral fins (cetaceans), mammals with hoofs and mammals with claws. Hoofed mammals were said to have imperfect touch, clawed mammals have many degrees of perfection depending on the anatomy of their fingers. As for marine mammals, surprisingly, Geoffroy Saint-Hilaire and Cuvier had no comment on degrees of perfection of their limbs.[35]

When frog tadpoles of the Genus *Rana* have completed their metamorphosis, Cuvier wrote that they have reached their perfect state.[36] Here, he took *the fully developed state of the whole organism as a standard of perfection*.

In my first example (above) of a description of insects with incomplete metamorphosis Cuvier merely distinguished degrees of perfection.[37] Earlier Cuvier introduced insects with incomplete metamorphosis more fully as having to go through two forms – larva, nymph – that are often very different from their perfect state, i.e., the state with fully formed wings.[38] Here we encounter a different aspect of perfection than that it occurs in degrees. Cuvier wrote,

> These are what we call insect metamorphoses. Their first state is called larva; the second, nymph; the last, perfect condition. It is only in this one that they are able to produce.[39]

33 - Étienne Geoffroy Saint-Hilaire and Georges Cuvier, Mémoire sur une nouvelle division des mammifères, et sur les principes qui doivent servir de base dans cette sorte de travail, lu à la société d'Histoire naturelle, le premier floréal de l'an troisième, par les citoyens Geoffroy et Cuvier, *Magasin encyclopédique*, 2 (1795), 164–190, see p. 169–172.

34 - Cuvier, op. cit. in n. 18, vol. 1, 77.

35 - Geoffroy Saint-Hilaire and Cuvier, op. cit. in n. 33, 174–175.

36 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 294.

37 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 624.

38 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 374–375, 441–442.

39 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 441.

The different aspect is that *the ability to reproduce is the standard of perfection.*

In a third and much later example of a standard of perfection, Cuvier described the larva (nymph) of insects with incomplete metamorphosis as having stumps or rudiments of wings that develop into wings during its last molt to bring the insect into its perfect state.[40] Once again, the endpoint of development was considered the perfect state, i. e., the standard for assessing perfection. *Here the wing rudiment was viewed as a structure to be developed into perfection – a wing. By implication, therefore, the rudiment is in a state of imperfection.*

I summarize what Cuvier said about perfection:

- Explicit or implicit comparison of organs as well as of organisms showed that they have degrees of perfection, i. e., perfection can be relative.

- The degree of perfection of an organ was not correlated with that of the whole organism.

- Cuvier associated degrees of perfection of organ systems with degrees of anatomical organization. The context of comparing the anatomy of the circulatory and nervous systems between the three taxonomic divisions indicates that degrees of organization refers to complexity of anatomical organization.

- The standard for assessing perfection was the most fully developed state of an organ or organism irrespective of the Species in which this state exists.

- The perfect state of an organism was marked by the ability to reproduce.

40 - Cuvier, op. cit. in n. 18, vol. 3, 137.

Discussion

Cuvier used two different notions of perfection

Individual perfection according to Cuvier is the degree of complexity of organization an individual animal reaches when its development is complete. This perfect state is marked by the ability to reproduce as Cuvier stated in describing insects with incomplete metamorphosis.[41] Thus the complexity of organization of any mature animal exemplifies individual perfection. Preceding stages of development are imperfect by that standard.

Relative perfection is the degree of complexity of organization of a mature animal compared to others. That is, when the individual perfections of different kinds of animal were compared in their mature state we get relative perfection. For instance, when Cuvier lined up molluscs, crustaceans, insects, worms (*vers*), echinoderms, and zoophytes he noted a decline of perfection in that order.

Relative perfection could also refer to an organ in a mature animal compared to other organs. This is seen when Cuvier associated degrees of perfection with complexity of organization of the circulatory as well as the nervous system of invertebrates. Further, twice Cuvier attributed relative perfection to body parts irrespective of the imperfection of the remainder of the body. This applied to the imperfect legs of the larvae of Lepidoptera and Coleoptera as well as to the human coccyx. To conclude, the notion of relative perfection of both organs and organisms is justified by the fact that Cuvier connected perfection with degrees of complexity of anatomical organization.

Degrees of perfection are the result of Cuvier's comparative method

Cuvier's reports on more or less perfection of animal organization indicate that he understood perfection comparatively. This applies to organisms as well as to organs. But only in the case of

41 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 441–442, 475, 561.

organs did he describe structure-function relationships as more or less perfect. The case in point is his report on parallel declines in degree of perfection of the circulatory and nervous systems of invertebrates. Since Cuvier held that the nervous and the circulatory systems are correlated one would expect him to have held that the decline in perfection of the one is not merely "the same thing" (his words) as the decline of perfection in the other, but that these tendencies are correlated. But he did not say so. Cuvier also described structure-function relationships between organisms such as predator-prey relations. [42] But he did not qualify them as more or less perfect. However that may be, the relative character of the perfection of organs as well as of organisms was an outcome of Cuvier's comparative method.

Perfection and complexity

I propose that Cuvier used the notion of perfection to refer to complexity of anatomical organization. Cuvier did not explicitly connect the degree of perfection with the complexity of anatomical organization. But the context indicates that he made that connection. By context I refer to the following three reports. First, following Cuvier's standard critique of attempts to line up organisms in the chain of being, he noted,

> Several of its genera, rays and sharks for example, rise far above the common fish, both by the *complication* of some of their sense organs, and by that of their organs of generation [which are] more developed in some of their parts than even those of birds. On the contrary, other genera, to which we arrive by obvious transitions, the lampreys, the ammocoetes, are *simplified* so much that we thought we were authorized to consider them as a passage from fish to articulated worms; that certainly at least the ammocoetes no longer have a skeleton, and that their entire muscular apparatus is supported only by

42 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 127, 179; idem, op. cit. in n. 13, vol. 1, 74, 79, 87, 455, 470; idem, op. cit. in n. 18, vol. 1, 186.

> tendons and membranes.[43]

Immediately following, Cuvier urged that an understanding of the degree of development or the degree of organization must be based on such descriptions, not on the level of classification.

> We therefore warn, once and for all, that it is in the very descriptions that we will give that we will have to look for the idea that must be made of the *degrees of organization*, and not at all in the place that we will be obliged to assign to species: and yet we are far from claiming that relationships do not exist; that there is no possible classification, and that we should not form groups of species and define them.[44]

This is a comparison of lampreys and ammocoetes with rays and sharks. The organs of sense and reproduction of the former are described as simple compared with the more complex organs of rays and sharks. In this context Cuvier distinguished degrees of complexity. Further, we encounter a description of the anatomy of ammocoetes which indicates a comparative decline in organization of the entire animal. Cuvier wanted his readers to look at his description as a whole to understand what he meant by degrees of organization. Note that he used degrees of organization and degrees of complexity as synonyms.

The second report occurs in the context of classifying invertebrates (introduced above). In it Cuvier associated degrees of perfection with complexity of organization of the circulatory as well as the nervous system. The context is a description of the trend

43 - Georges Cuvier and Achille Valenciennes, *Histoire naturelle des poissons*, 8 vol. (Paris: Levrault, 1828–1833), vol. 1, 568: *Plusieurs de ses genres, les raies, les squales par exemple, s'élèvent fort au-dessus du commun des poissons, et par la complication de quelques-uns de leurs organes des sens, et par celle de leurs organes de la génération, plus développés dans quelques-unes de leurs parties que ceux même des oiseaux ; et d'autres genres, auxquels on arrive par des transitions évidentes, les lamproies, les ammocètes, se simplifient au contraire tellement, que l'on s'est cru autorisé à les considérer comme un passage des poissons aux vers articulés ; que bien certainement du moins les ammocètes n'ont plus de squelette, et que tout leur appareil musculaire n'a que des appuis tendineux ou membraneux.*

44 - Cuvier and Valenciennes, op. cit. in n. 43, vol. 1, 569–570: *Nous avertissons donc, une fois pour toutes, que c'est dans les descriptions mêmes que nous donnerons, qu'il faudra chercher l'idée que l'on doit se faire des degrés de l'organisation, et nullement dans la place que nous serons obligés d'assigner aux espèces : et toutefois nous sommes loin de prétendre que des rapports n'existent pas ; qu'il n'y a point de classification possible, et que l'on ne doit pas former des réunions d'espèces et les définir.*

of declining perfection Cuvier saw when he lined up humans, quadrupeds / birds, fish, cuttle fish and polyps in that order. This indicates that when Cuvier mentioned degrees of organization he was referring to complexity of anatomical organization.

The third report suggesting a link between degree of perfection and complexity of body organization is Cuvier's rapid review of the intellectual functions of animals. We saw that without mentioning complexity Cuvier asserted that mental processing depends on the material organization of each species as well as on the perfection of memory defined as order and speed of mental operation. This definition implies complexity of material organization as the basis for intellectual functioning. In this way Cuvier related degree of perfection to complexity of body organization.

These three reports are the ground for my hypothesis that Cuvier's notion of perfection referred to complexity of organization. Degrees of perfection were linked to degrees of organization. Degrees of organization were linked to degrees of complexity. Hence, degrees of perfection were linked to degrees of complexity. More specifically, perfection referred to anatomical or structural complexity. It did not refer to physiological complexity because physiological knowledge was too insufficient to justify applying the notion of complexity. [45] Moreover, the hypothesis is consistent with the fact that "perfection" taken as complexity had degrees. Put otherwise, the hypothesis explains that perfection came in degrees because complexity came in degrees. Finally, I add that just as the relative character of perfection was an outcome of Cuvier's comparative method so was the relative character of complexity.

45 - Cuvier and contemporaries such as Lamarck used the word "complexity" without defining the concept. Even in the 21st century there is no consensus definition of complexity. Lamarck, op. cit. in n. 10, 2, 3, 4, 5, 8, 10 used *complication* and *la composition croissante de l'organisation animale*. For a history of complexity, see Ernst Mayr, *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance* (Cambridge, Mass.: Belknap Press, 1982). For the 21st century state of discussions of complexity: Saverio Forestiero, The Historical nature of biological complexity and the ineffectiveness of the mathematical approach to it, *Theory in Biosciences*, 141/2 (2022), 213–231.

How could Cuvier use the notion of perfection which he rejected in the chain of being?

Throughout its history the chain of being was seen as a scale of degrees of perfection.[46] Since 1791 Cuvier criticized the chain of being while also lining up animals along a scale of perfection. It may seem that Cuvier's use of the notion of perfection was inconsistent with his rejection of the chain of being which also uses this notion. To see that this inconsistency does not obtain let me compare his views on the matter from 1791 to 1800 with those from 1812 onwards. In 1791 Cuvier criticized the Chain by noting that ranking organisms using different organs produced different rankings.[47] In 1792 Cuvier acknowledged differences of degree between the genera of woodlice and aquatic lice.[48] But he interpreted these differences in the context of the chain of being despite his earlier criticism. In 1795 Cuvier and Geoffroy Saint-Hilaire concluded that the Genus of tarsiers within the Order of the quadrumana shared enough characteristics with the Order of the chiroptera that it could be considered as a link between these Orders.[49] Also in 1795 Cuvier attributed differences of degree in perfection between the members of the series from molluscs to zoophytes,[50] despite his earlier criticism of the Chain. In 1798 and 1800 he used the organization of the human body as the standard for comparing the degrees of simplicity of other organisms.[51] Also in 1800 Cuvier repeated his criticism of the

46 - Arthur O. Lovejoy, *The great chain of being: A study of the history of an idea* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2001 [1936]), 61 (Aristotle), 119 (Bruno), 178 (Leibniz), 184, 190 (Locke), 216 (Law), 286 (Bonnet). Charles Bonnet, *Contemplation de la nature* (Amsterdam: Marc-Michel Rey, 1764), vol. 1, 26, see also p. 24–25; cited from *Œuvres d'histoire naturelle et de philosophie de Ch. Bonnet*, vol. 7 (Neuchâtel: Fauche, 1781). Toby A. Appel, Henri de Blainville and the Animal Series: A Nineteenth-Century Chain of Being, *Journal of the History of Biology*, 13/2 (1980), 291–319: Blainville (1777–1850) began as a co-worker of Cuvier and later became his successor in the chair of comparative anatomy at the Académie des sciences.

47 - Cuvier to Pfaff, February 19, 1791, in *George Cuviers Briefe an C. H. Pfaff aus den Jahren 1788 bis 1792, naturhistorischen, politischen und literarischen Inhalts*, ed. by W. F. G. Behn (Kiel: Schwers'sche Buchhandlung, 1845), 209.

48 - Georges Cuvier, Mémoire sur les cloportes terrestres, *Journal d'histoire naturelle*, 2 (1792), 18–19, 29.

49 - Georges Cuvier, Étienne Geoffroy Saint-Hilaire, Mémoire sur les rapports naturels du Tarsier (*Didelphis macrotarsus* Gm.), *Magasin encyclopédique*, 3 (1795), 147, 154.

50 - Cuvier (May 10, 1795), op. cit. in n. 22.

51 - Cuvier, op. cit. in n. 14, 83 and in n. 13 (1st ed., vol. 1, ii).

Chain of 1791.[52] Thus, from 1791 to 1800 he worked with degrees of perfection while also criticizing the Chain which incorporates degrees of perfection. As Appel noted, 1812 marks Cuvier's break with the chain of being.[53] In conclusion, between 1791 and 1800 Cuvier's criticism of the Chain indicates that he was not committed to it. That is, he did not hold both to differences of degree in perfection and to a rejection of the Chain which would have been inconsistent. Perhaps he considered the Chain as a working hypothesis during this period. After 1812 he rejected both the Chain and differences of degree in perfection. So, there was no inconsistency either.

Degradation – as distinct from degeneration – refers to the gradual decline of the complexity of an organ to the point where its usage is lost and the organ has become a vestige. Cuvier applied degradation in a comparison of single organs in the chain of being.[54] This is the only time he connects the vestigial state with level of complexity of organization, i. e., indirectly with degrees of perfection. Other than that I think Cuvier did not relate degrees of perfection to the vestigial state of an organ.

Is Cuvier's notion of perfection paradoxical?

Cheung interpreted Cuvier as holding that the organization of an animal is either perfect or not perfect. Hence an organism cannot be more or less perfect. Indeed, Cuvier described organs and organisms as more or less perfect. In this Cheung was correct. If Cuvier also used perfection in an all-or-none fashion this would create a paradox. But he did not for the following six reasons.

First, I have found no evidence showing that Cuvier held an all-or-nothing view of perfection. Second, instead I have presented extensive evidence that he viewed perfection as existing in degrees. This suffices for the conclusion that there was no paradox. This conclusion receives further support. Third, Cuvier measured perfection by using the fully developed state of an organ or organism as a standard. Since Cuvier knew that development is

52 - Cuvier, op. cit. in n. 13, vol. 1, 59–60.
53 - Appel, op. cit. in n. 46, 298.
54 - Cuvier, op. cit. in n. 13, vol. 1, 59.

a gradual process, perfection comes in degrees. Fourth, Cuvier used perfection as a property of animal organization. The latter was described in degrees. This adds support to my claim that Cuvier viewed perfection as existing in degrees. Fifth, Cuvier described some animals as complex and others as simple. That is, complexity of animal organization exists in degrees. Since perfection was a property of animal organization, therefore perfection existed in degrees. To sum up the last two points: Degrees of perfection were linked to degrees of organization. Degrees of organization were linked to degrees of complexity. Hence, degrees of perfection were linked to degrees of complexity. Therefore, there was no paradox.

Finally, above we have seen that the sources Cheung cited in support of the alleged paradox actually support the opposite conclusion. Cuvier's expression "the most perfect" (*les plus parfaits*) articulates a comparison, not a double superlative. The most telling passage by Cuvier to which Cheung refers [55] reads,

> To prevent a criticism which will naturally present itself to many people, I must first notice that I had neither the pretension nor the desire to classify beings in such a way as to form a single line, or to mark their mutual superiority. I consider any attempt of this kind to be impracticable; thus I do not intend that mammals or birds, placed last, are the most imperfect of their class; I mean even less that the last of the mammals is more perfect than the first of the birds, the last of the molluscs more perfect than the first of the annelids or the zoophytes; even by restricting *this vague word of more perfect*, in the sense of more completely organized. I have only considered my divisions and subdivisions as the graduated expression of the resemblance of the beings which enter into each; and although there are some where we observe a sort of degradation and passage from one species to another, which cannot be denied, this provision is far from being general. The alleged scale of beings is only an erroneous application to the totality of creation of these partial observations, which are only correct as long as we restrict them within the limits where they were made, and this application, in my opinion, has harmed the progress of natural history in recent times

55 - Cheung, op. cit. in my n. 1, 544, n. 14 (see Cuvier, op. cit. in n. 18, vol. 1, xx).

to a degree that one would hardly imagine. [56]

Cuvier emphasized that it was not his intention to compare animals in terms of superiority and perfection of their organization. He, thereby, denies Cheung's claim that Cuvier wanted to compare animals in terms of their completeness. Further, Cuvier not only characterized the expression "the most imperfect" (*les plus imparfaits*) as a vague term, but directly denied using it to compare the completeness of the organization of different animals. This indicates that Cuvier was using the double superlative for emphasis in a comparison and that the double superlative should not be interpreted logically. Moreover, he linked the expression *les plus imparfaits* to the chain of being which he rejected. Other sources Cheung cited in support of "the most perfect" as a logically paradoxical double superlative also use the double superlative for emphasis in comparisons. [57]

In sum, according to Cheung an organism is perfect or not perfect. It follows that an organism cannot be more or less perfect or even the most perfect. Indeed, Cuvier described organs and organisms as more or less perfect. In this Cheung was correct. The problem lies in his assumption that Cuvier was using the expression "the most perfect" in the sense of completeness in the

56 - Cuvier, op. cit. in n. 18, vol. 1, xx: *Pour prévenir une critique qui se présentera naturellement à beaucoup de personnes, je dois remarquer d'abord, que je n'ai eu ni la prétention, ni le désir de classer les êtres de manière à en former une seule ligne, ou à marquer leur supériorité réciproque. Je regarde même toute tentative de ce genre comme inexécutable ; ainsi je n'entends pas que les mammifères ou les oiseaux, placés les derniers, soient les plus imparfaits de leur classe ; j'entends encore moins que le dernier des mammifères soit plus parfait que le premier des oiseaux, le dernier des mollusques plus parfait que le premier des annélides ou des zoophytes ; même en restreignant ce mot vague de plus parfait, au sens de plus complètement organisé. Je n'ai considéré mes divisions et subdivisions que comme l'expression graduée de la ressemblance des êtres qui entrent dans chacune ; et quoique il y en ait où l'on observe une sorte de dégradation et de passage d'une espèce à l'autre, qui ne peut être niée, il s'en faut de beaucoup que cette disposition soit générale. L'échelle prétendue des êtres n'est qu'une application erronée à la totalité de la création de ces observations partielles, qui n'ont de justesse qu'autant qu'on les restreint dans les limites où elles ont été faites, et cette application, selon moi, a nui, à un degré ineque l'on aurait peine à imaginer, aux progrès de l'histoire naturelle dans ces derniers tem[p]s.*

57 - Cheung, op. cit. in my n. 1, 544, n. 14. For instance, another comparative rather than superlative is found when Cuvier, op. cit. in n. 13, vol. 2, 118–119 compares the perfection of the structure and ability to receive impressions of the sense organs of humans with neighbouring animals. The last example cited by Cheung (op. cit. in my n. 1, 549) is a comparative by Georges Cuvier (1825), op. cit. in n. 2, 265.

absolute sense. That is, if an organism is complete in the absolute sense, there cannot be another organism that is more complete. Instead, Cuvier used the expression "the most perfect" for emphasis as was common before and during his era.

Conclusions

- Cheung took the notion of "perfection" in Cuvier as an all-or-nothing state of animal organization.
- There is no evidence in support of Cheung's claim.
- Rather, Cuvier operated with degrees of perfection of animal organization;
- Therefore, there is no paradox.
- In Cuvier, perfection referred to the complexity of the organization of an entire animal or of one of its organs.
- The relative character of perfection as well as of complexity are explained as a result of Cuvier's comparative method.

A “highly patriotic” project or a scientific-diplomatic object

Antônio Austregésilo Rodrigues de Lima and the idea of a Brazilian student house in Paris in the interwar period *

Luciana Vieira **
and Silvia Fernanda de Mendonça Figueirôa ***

Summary: This paper aims to analyse the first concrete initiative towards the construction of the Brazilian Student House at the Cité Internationale Universitaire de Paris in the 1920s. As proposed in the bill presented to the Brazilian Chamber of Deputies in 1926 by the physician, scientist, professor, and deputy Antônio Austregésilo Rodrigues de Lima, the idea of a house for Brazilian artists, physicians, scholars, and professors in Paris emerged from a Franco-Brazilian network of scientists, diplomats, professors, and institutions. As we argue, the Brazilian Student House in Paris in the interwar period can be conceived as a scientific-diplomatic object, and the disputes around its idealization may be framed as an example of both scientific cooperation and scientific competition, as has been well theorized by Pierre-Bruno Ruffini. Moreover, as observed in Austregésilo’s discourses defending the project, the creation of the house would institutionalise and improve not only the circulation of Brazilian scholars in Paris but also Brazil’s cultural influence in France. Although the house was not built

* Part of the results analysed here was presented at the 2022 ESHS Brussels Conference, at the panel on “Science Diplomacy and Politics,” organised by the DHST Commission on Science, Technology, and Diplomacy (STAND). We acknowledge colleagues from this commission for their suggestions to improve the manuscript. This study was financed, in part, by the São Paulo Research Foundation (FAPESP), Brasil (process number 2022/03004-6 and 2020/09986-0).
** Luciana Vieira, Museum of Astronomy and Related Sciences (MAST), R. General Bruce, 586, São Cristóvão, Rio de Janeiro, Brasil, 20921-030; visiting researcher (2023–2024) at the Centre de Recherches sur le Brésil Colonial et Contemporain, Mondes Américains, École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, France. Email: lucianavieira@mast.br.
*** Silvia Fernanda de Mendonça Figueirôa, Universidade Estadual de Campinas, Institute of Geosciences, Multiunit Post-Graduate Program in Science and Mathematics Education, R. Carlos Gomes, 250, Cidade Universitária, Campinas, São Paulo, Brasil, 13083-855. Email: silviamf@unicamp.br.

when planned, and the Maison du Brésil was inaugurated only in 1959, the analysis of this first project can contribute to further discussions about the mutual scientific and university interests shared by France and Brazil during the 20th century.

Keywords: Maison du Brésil; Cité Internationale Universitaire de Paris; Antônio Austregésilo; science diplomacy; international exchanges.

Résumé : *Cet article vise à analyser la première initiative concrète en vue de la construction de la Maison de l'étudiant brésilien à la cité internationale universitaire de Paris dans les années 1920. Comme présenté dans le projet de loi proposé par le médecin, scientifique, professeur et député Antônio Austregésilo Rodrigues de Lima à la Chambre des députés brésilienne en 1926, l'idée d'une maison pour les artistes, médecins, chercheurs et professeurs brésiliens a émergé d'un réseau franco-brésilien de scientifiques, de diplomates, de professeurs et d'institutions. Comme nous le verrons, la Maison de l'étudiant brésilien à Paris dans l'entre-deux-guerres peut être conçue comme un objet scientifique-diplomatique, dont les disputes autour de son idéalisation peuvent être considérées comme un exemple de coopération et de compétition scientifiques, comme l'a bien théorisé Pierre-Bruno Ruffini. De plus, comme on observe dans les discours d'Austregésilo défendant le projet, la création de la maison institutionnaliserait et améliorerait à la fois la circulation des chercheurs brésiliens à Paris et l'influence culturelle brésilienne sur la France. Bien que la maison n'ait pas été construite à la date prévue et que la maison du Brésil n'ait été inaugurée qu'en 1959, l'analyse de ce premier projet peut contribuer à d'autres discussions sur les intérêts scientifiques et universitaires mutuels entre la France et le Brésil au cours du xx^e^ siècle.*

Mots-clés : *Maison du Brésil; cité internationale universitaire de Paris; Antônio Austregésilo; diplomatie scientifique; échanges internationaux.*

Introduction

On 27 August 1926, during the 63rd session of the Brazilian Chamber of Deputies, the professor, physician, and scientist Antônio Austregésilo Rodrigues de Lima, Federal Deputy for the State of Pernambuco, declared the following to the assembly: "The bill for the creation of the Brazilian Student House in Paris is highly patriotic and completely justified."[1] Austregésilo's

1 - *Diário do Congresso Nacional*, 28 Aug. 1926, 2670 (Câmara dos Deputados, Brazil, archives). Original in Portuguese: *O projecto de creação da Casa do Estudante Brasileiro em Paris é altamente patriótico, e de modo cabal se justifica.*

words were supposed to convince his colleagues about the importance and relevance of constructing a house for Brazilian students and researchers at the then-University City of Paris (CIUP).[2]

The student house, as proposed by Austregésilo in the 1920s, did not materialise, at least not during his legislature (1922–1930). However, the Maison du Brésil was eventually built about three decades later, after the Second World War, within the context of Brazil's expanding scientific and university policies and the growth of the CIUP in Paris.[3] Nowadays, the house is still functioning and receives Brazilian and international students, researchers, artists, and professors.[4] A symbol of Brazilian modernist architecture, the house was initially designed by the Brazilian architect Lúcio Costa (1902–1998) and built by Le Corbusier Atelier in Paris, with some modifications to the original project.[5]

For a better understanding of the Brazilian interest in the CIUP, it is important to mention that French science had long played a significant role in shaping scientific education in the country. Until the early decades of the 20th century, French authors of scientific textbooks were dominant in elementary and secondary schools, as well as higher education.[6] In addition, French institutional models inspired medical higher education reforms in

2 - In order to standardize the name of the institution, from now on it will be Cité Internationale Universitaire de Paris (CIUP).

3 - Marcio Rodrigues Pereira, "La Politique culturelle française du Brésil de 1945 à 1970: Institutions, acteurs, moyens et enjeux," PhD thesis (Université de Strasbourg, 2014). Angélica Müller, "La maison du Brésil pendant les 'années 1968:' Entre internationalisme des réseaux universitaires et nationalisme des militaires," in Dzonivar Kévonian and Guillaume Tronchet (ed.), *Le Campus-monde: La cité internationale universitaire de Paris de 1945 aux années 2000* (Rennes: Presses Universitaires de Rennes, 2022), 185–198. Angélica Müller, The Maison du Brésil at the Cité Internationale Universitaire de Paris: a project towards national development and internationalism, *Espacio, tiempo y educación*, 10/1 (2023), 95–114.

4 - For information about the rules for applying as a resident, see the website. Available at: http://www.maisondubresil.org/pt-br/, accessed on 21 Jan. 2023.

5 - There are several studies dedicated to discussing its architectural project. Dzovinar Kévonian, Bibliographie, in Dzonivar Kévonian and Guillaume Tronchet (ed.), *La Babel étudiante: La cité internationale universitaire de Paris (1920–1950)* (Rennes: Presses Universitaires de Rennes, 2013), 199–210.

6 - Silvia F. de M. Figueirôa, A sample of geological textbooks: The book *História física da Terra* (1943) by Alberto Betim Paes Leme, *Almagest: International journal for the history of scientific ideas*, 3 (2012), 106–121.

Imperial and Republican Brazil.[7] Moreover, between 1825 and 1903, almost a hundred Brazilian students attended the French *grandes écoles* of engineering – namely, Polytechnique, Mines, and Ponts-et-Chaussées – a significant number within the larger community of Brazilian engineers.[8] Therefore, it is unsurprising that France and the city of Paris were the focus of the Brazilian initiative.

In this paper, we aim to investigate the origins of the Maison du Brésil. Specifically, we intend to analyse the historical context and the network of social actors from which Austregésilo's bill emerged. We consider that the house materialised the complexity of political, scientific, educational, and diplomatic interests derived from the activities of a Franco-Brazilian network of scientists, professors, diplomats, and politicians. To understand Austregésilo's conception of the project, we intend to reconstruct his itinerary through the Franco-Brazilian diplomatic and scientific circles in the first decades of the 20th century. Finally, we will demonstrate the connections between Austregésilo's networks in the 1920s and the efforts that brought the Maison du Brésil to fruition in the 1950s.

Besides analysing the shaping of a Franco-Brazilian scientific diplomatic network around Austregésilo, which could explain his intentions in presenting his bill, the Brazilian Student House itself can also be investigated through the prism of science diplomacy studies. In recent years, the historical relations between science and diplomacy have been of interest to historians of sci-

7 - Flavio Coelho Edler, A medicina brasileira no século XIX: Um balanço historiográfico, *Asclepio: Revista de historia de la medicina y de la ciencia*, 50/2 (1998), 169–186.
8 - Silvia F. de M. Figueirôa, Brazilian engineers in the French "Grandes Écoles" in the 19th century, *Quaderns d'història de l'enginyeria*, 15 (2017), 183–194.

ence.[9] Although the term "science diplomacy" is a recent concept in the field of international relations, there are numerous examples of the participation of science and scientists in the diplomatic apparatus in other historical periods.[10] This paper also intends to contribute to historiographical discussions on science diplomacy by considering the strategies developed by different social actors in epochs when the relations between science and diplomacy were intermingled with scientific and governmental practices without bearing a science diplomacy label. Based on these theoretical considerations, the Maison du Brésil will be analysed here as a scientific-diplomatic object, a concept that has yet to be developed. In this paper, by focusing on the organisation of an institution, we seek to expand the notion of science diplomacy by applying it not only to individuals and external policies but also to an academic residence.

Another theoretical contribution of the current research relates to the interplay between science and diplomacy: why can't they be considered a synonym for collaboration? As argued by Ruffini, as other diplomatic practices (such as cultural and economic diplomacy), science diplomacy can be used to obtain resources and exert political influence over other countries, promoting not only cooperation but also competition.[11] Given the different social actors involved in the event under study (scientists, faculty members, diplomats, politicians) and the diversity of historical sources from where the data are available (French and Brazil-

9 - See, for example: Maria Rentetzi, Living with radiation or why we need a diplomatic turn in history of science, *Kjemi*, 6 (2017), 21–24. Matthew Adamson, Roberto Lalli, Global perspectives on science diplomacy: Exploring the diplomacy-knowledge nexus in contemporary histories of science, *Centaurus*, 63/1 (2021), 1–16. Simone Turchetti, Matthew Adamson, Giulia Rispoli, Doubravka Olšáková, Sam Robinson, Introduction: Just Needham to Nixon? On writing the history of "science diplomacy," *Historical studies in the natural sciences*, 50/4 (2020), 323–339. Lif Lund Jacobsen, Doubravka Olšáková, Diplomats in science diplomacy: Promoting scientific and technological collaboration in international relations, *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte*, 43/4 (2020), 465–472. Söenke Kunkel, Science diplomacy in the twentieth century: Introduction, *Journal of contemporary history*, 56/3 (2021), 473–484. Maria Rentetzi, Kenji Ito, The material culture and politics of artifacts in nuclear diplomacy, *Centaurus*, 63/2 (2021), 233–243. Kenji Ito, Maria Rentetzi, The co-production of nuclear science and diplomacy: Towards a transnational understanding of nuclear things, *History and technology*, 37/1 (2021), 4–20.

10 - Pierre-Bruno Ruffini, *Science and diplomacy: A new dimension of international relations* (Cham: Springer, 2017).

11 - Pierre-Bruno Ruffini, Collaboration and competition: The twofold logic of science diplomacy, *The Hague journal of diplomacy*, 15/3 (2020), 371–382.

ian newspapers, scientific papers and books, biographies, diplomatic letters and telegrams, Official Gazettes), the analysis of the first concrete initiative for the construction of a Brazilian student house in Paris, in the interwar period, shall take into consideration the complexity of interests, values, advantages, and disadvantages at stake. At the end of the paper, we include a table with the names, institutions, and functions of the Franco-Brazilian individuals most involved with Austregésilo's bill to facilitate reading and comprehension.

The Cité Internationale Universitaire de Paris and the Franco-Brazilian scientific exchanges in the interwar period

The Cité Internationale Universitaire de Paris (CIUP) is sited south of Paris. It provides lodging, health care, sports options, and nutritional services to students, artists, researchers, and professors during their stay as residents. The CIUP is the result of old demands from the Parisian university environment. By the end of the 19th century, the University of Paris faced problems related to the lack of physical space due to the increased faculty and student body.[12] At the time, Paris was among the most popular European cities for those intending to attend higher education.[13]

At the beginning of the 20th century, André Honnorat (1868–1950), then deputy of the former department of Basses-Alpes, requested the Parliament to obtain a land grant for the University of Paris, arguing the importance of the campus expansion. As a result, the university was granted credit to construct student residences, a long-standing demand. In 1920, Honnorat became Minister of Public Instruction and appointed Paul Émile Appell (1855–1930), mathematician and professor, as the new rector of the University of Paris. Due to insufficient public re-

12 - Guillaume Tronchet, Diplomatie universitaire ou diplomatie culturelle? La cité internationale universitaire de Paris entre deux rives (1920–1940), in Kévonian and Tronchet (ed.), *op. cit. in* n. 5, 59–88.
13 - Victor Karady, Mise en perspective: Paris dans les migrations académiques internationales au début du xx^e^ siècle, in Kévonian and Tronchet (ed.), *op. cit. in* n. 5, 35–43.

sources, Honnorat began to seek support from patrons. The industrialist Émile Deutsch de la Meurthe, who came from a family with a philanthropic tradition, was quick to donate ten million francs gold to construct accommodation designed to house 350 students. In June 1921, the French State donated the land to build the first houses at the CIUP, and the city of Paris rented another part to organise a park. Between 1921 and 1922, Appell contacted foreign patrons interested in cooperating with that new institution. [14] At the time, he was also responsible for selecting the nations that could build their houses in the CIUP. [15]

The three founders of the CIUP, Honnorat (its first president), Appell, and Meurthe, shared common ideals: hygienism, expressed as the need for providing healthier installations for the students in Paris, and pacifist internationalism. [16] The internationalisation idea had to be carefully analysed. Firstly, the period in which the CIUP was conceived, after the Great War, encouraged the spread of a pacifying discourse among nations. However, the intended pacification was not extended to all countries but only to those considered allied to France or neutral – in particular, the United States, Canada, Great Britain, and the Scandinavian countries – for which houses would be built in the future university city. [17] Thus, when we analyse the first Brazilian initiatives for the CIUP, we must consider them within their more comprehensive relations with France and the internal and foreign policies in dispute in Brazil. In addition, as noted by the historian Guillaume Tronchet, the initial plan was to call the institution Cité Universitaire, meaning a Parisian project aiming to expand its reach internationally. [18] Hence, Tronchet considers the founding of the CIUP as a French project of academic imperialism, according to the logic of university diplomacy. [19] Thus, while analysing

14 - Tronchet, *op. cit. in* n. 12.
15 - Monica Corrado, *La Fondation suisse à la Cité universitaire: Petite histoire d'une "machine habitée"* (Paris: L'Œil d'Or, 2023).
16 - Robert Frank, Préface, in Kévonian and Tronchet (ed.), *op. cit. in* n. 5, 7–12.
17 - Tronchet, *op. cit. in* n. 12.
18 - Tronchet, *op. cit. in* n. 12.
19 - The French university diplomacy was a practice developed initially by the higher education institutions, as the *grandes écoles*, at the end of the 19th century. At the beginning of the 20th century, this practice was institutionalized within the Ministry of Public Instruction. Tronchet, *op. cit. in* n. 12, 59–60.

the Brazilian engagement in that project, it is essential to keep a safe distance from the founders' discourses, considering the previous and broader French plans to promote influence in other countries through culture, in a soft power logic. [20]

Over time, the CIUP, which was linked to the University of Paris, underwent a process of increasing autonomy due to the growth, above all, in the number of donations from national and international patrons. The French Ministry of Foreign Affairs, headquartered on the Quai d'Orsay, became interested in the undertaking, framing it as part of the French cultural diplomacy strategies. The CIUP gradually abandoned its local – Parisian – character to achieve a national statute. [21] Between 1925 and 1930, Canada, Belgium and Luxembourg, Argentina, Japan, Armenia, Indochina, and the United States built their houses on the campus. Besides the national houses, there were also the Maison de l'Institut National Agronomique and the Fondation Deutsch de la Meurthe, the first house inaugurated at the CIUP in 1925. In the 1930s, the Maison des Étudiants Suédois, the Maison des Étudiants Danois, the Fondation Hellénique, the Fondation Suisse, the Maison de Cuba, the Maison des Provinces de France, the Collège d'Espagne, the Maison Internationale, the Collège Franco-Britannique, and the Maison de Monaco also appeared. [22]

The first initiative for constructing a Brazilian house at the CIUP dates back to 1923, with the idea of a residence for Brazilian and Argentinian students. Throughout the 1920s, some initiatives emerged, such as the efforts of the ambassador of Brazil in Paris, Luiz Martins de Souza Dantas (1876–1954), in 1924, and Austregésilo's bill in 1926, which we will analyse in detail in the following sections. [23] One of the most important institutions for the Franco-Brazilian exchanges at the beginning of the 20th cen-

20 - Science and technique were also part of the diplomacy, as observed in the examples previously mentioned. However, these areas became specific sectors of the French diplomacy only after the Second World War. Hugo Suppo, "La politique culturelle française au Brésil entre les années 1920–1950," PhD thesis (Institut des Hautes Études de l'Amérique Latine, Université Paris-III – Sorbonne Nouvelle, 1999).

21 - Tronchet, *op. cit. in* n. 12.

22 - Frank, *op. cit. in* n. 16. Tronchet, *op. cit. in* n. 12. Dzovinar Kévonian, Guillaume Tronchet, Introduction: La cité internationale universitaire de Paris dans l'atelier de l'historien, in Kévonian and Tronchet (ed.), *op. cit. in* n. 5, 13–34.

23 - Pereira, *op. cit. in* n. 3.

tury was the Groupement des Universités et Grandes Écoles de France pour les Relations avec l'Amérique Latine, founded in 1907 at the Collège de France, in Paris, by the professors Henri Louis Le Châtelier (1850–1936, physics-chemistry) and Paul Appell (mathematics), one of the founders of the CIUP. Unlike other institutions of the same period, the Groupement was not a state initiative but a scientific one. Its scholars' aims were the dissemination of the French language, the concept of "Latinity" (as an identity shared by French and Latin American elites), and Auguste Comte's positivism. These three objectives can be observed in the actions of French intellectuals in Brazil, mainly in the work of Georges Dumas. [24]

Dumas (1866–1946) was a philosopher, psychiatrist, psychologist, and professor at the Sorbonne who used to host Brazilian professors in his laboratory at the Sainte Anne Hospital. In 1908, one of his Brazilian colleagues, the physician and professor Maurício de Medeiros, invited him to Rio de Janeiro. That was the first of several visits Dumas made to Brazil as a representative of the Groupement. Throughout the early decades of the 20th century, the Groupement promoted scientific and academic missions of Latin American scholars in France and vice-versa; the publication of French materials in Latin American countries; the organisation of Latin American chairs in French universities; and the creation of Groupement offices in Latin American countries, firstly in Brazil, Peru, Argentina, and Bolivia. [25]

The success of the Groupement in Brazil was only possible due to the support of scientists from both countries and the building of a cohesive Franco-Brazilian network. Among the Brazilians, we should mention the biochemist Paulo Carneiro (1901–1982), who studied in Paris, where he also founded the Maison d'Auguste Comte International Association and served as Brazil's permanent delegate to UNESCO; Paulo Duarte (1899–1984), one of the founders of the University of São Paulo and the French Insti-

24 - Patrick Petitjean, Entre ciência e diplomacia: A organização da influência científica francesa na América Latina, 1900–1940, in Amélia Império Hamburger, Maria Amélia M. Dantes, Michel Paty, Patrick Petitjean (ed.), *A Ciência nas relações Brasil-França (1850–1950)* (São Paulo: Edusp / FAPESP, 1996), 89–120.

25 - Petitjean, *op. cit. in* n. 24. On Georges Dumas' life and Brazilian trajectory, see also Marcia Consolim, Circulação de intelectuais e recepção das novas ciências do homem francesas no Brasil: 1908–1932, *Tempo social*, 33/1 (2021), 17-51.

tute for Advanced Brazilian Studies at the Musée de l'Homme, in Paris; Branca de Almeida Fialho (1896–1965), physiologist, feminist and educator, one of the founders of the Brazilian Association of Education, president of the Women Federation of Brazil in the 1950s, and with an important career in promoting cultural and intellectual diplomatic policies with France; and her brother, the physician and professor Miguel Ozório de Almeida (1890–1953). [26] On the French side, we should mention the ethnologist Paul Rivet (1876–1958), founder of the Musée de l'Homme; Henri Piéron (1881–1964), professor of psychology at the Collège de France; and Gabrielle Mineur, cultural *attachée* in Brazil from 1946 onwards. [27]

Alongside the networks of scholars, the institutional organisation played a crucial role in the "Latinity" project, as attested by the creation of the Institutes of High Culture in Mexico, Argentina, and Brazil in the 1920s. For example, the Instituto Franco-Brasileiro de Alta Cultura was founded in 1922 in Rio de Janeiro during the celebrations of the centenary of Brazilian Independence from Portugal. This institute's primary purpose was to invite French scholars to Brazil and Brazilian scholars to France and promote conferences on different subjects, such as literature, architecture, social sciences, law, nature, and life sciences, as well as medicine. [28]

Hence, it can be observed that when the first initiatives to create a Brazilian student house at the CIUP took place, Brazil and

26 - The siblings Miguel, Álvaro, and Branca Ozório de Almeida (later Branca de Almeida Fialho) were physiologists who circulated in France. Together, they built a physiology laboratory in their parent's house, which became an important place of research and socialisation for members of the scientific and economic elites of Rio de Janeiro. In the 1920s, the laboratory also received international scientists, such as Marie Curie and Albert Einstein, during their stays in Brazil. See: Letícia Pumar, "Almas sem Abrigo:" O laboratório de fisiologia dos irmãos Ozório e os debates sobre ciência e educação na Primeira República, *Política & sociedade*, 17/38 (2018), 304–339. Yolanda Lima Lôbo, Branca de Almeida Fialho, in *Dicionário de educadores no Brasil: Da colônia aos dias atuais*, 2nd ed. (Rio de Janeiro: Ed. UFRJ / MEC-INEP, 2002), 201–205. Patrick Petitjean, Miguel, Paul, Henri et les autres, in Antônio Augusto P. Videira and Silvio R. A. Salinas (ed.), *A Cultura da física: Contribuições em homenagem a Amelia Imperio Hamburger* (São Paulo: Livraria da Física, 2001), 59–94.

27 - Petitjean, *op. cit. in* n. 26, Suppo, *op. cit. in* n. 20, Luciana Dadico, Rogério Monteiro de Siqueira, Henri Piéron, Roberto Mange e a história da psicotécnica no Brasil: Representações em disputa, *História da educação*, 25 (2021).

28 - Petitjean, *op. cit. in* n. 26, Petitjean, *op. cit. in* n. 24.

France had already established institutions and intellectuals working to foster new collaborations between the two countries, thereby consolidating a long-standing tradition of exchanges.

Institutionalizing the international circulation: the role of Austregésilo in the idealisation of the first house for Brazilian students at the CIUP

Antônio Austregésilo Rodrigues de Lima (1876–1960) was born in Recife, Pernambuco state, to a middle-class family. [29] When he was 16 years old, he moved to the then-Brazilian capital, Rio de Janeiro, to study at the School of Medicine. While at university, he lived at the Convento de Santo Antônio, where he rented a simple room. After his father's death, his family faced several economic difficulties. Consequently, he had to work to provide for himself at university. Among other activities, he helped his classmates and taught at some secondary schools. Austregésilo graduated in 1899 publishing his thesis entitled "Clinical study of delirium." In the following years, he tried twice to become a full professor at the School of Medicine without any success. In 1909, he held a temporary position as professor of the chair of Medical Clinic, Internal Pathology, and Propaedeutic Clinic. Finally, in 1912, he was nominated as the first full professor of the Chair of Neurological Clinic at the School of Medicine of Rio de Janeiro. [30]

According to Mariz, [31] his biographer, Austregésilo's entry into the international community of medicine was connected to his nomination as a professor since his chair was the first one spe-

29 - Paulo Dalgalarrondo, Mônica Jacques de Moraes, Eloísa Helena Rubello Valler Celeri, Amilton dos Santos Júnior, Das psicoses associadas a infecções no Brasil: 100 anos da contribuição psicopatológica de Antonio Austregésilo, *Revista latinoamericana de psicopatologia fundamental*, 23/3 (2020), 646–667.

30 - J. Mariz, *A. Austregésilo: História de um professor de medicina* (Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1947).

31 - Mariz, *op. cit. in* n. 30.

cially dedicated to neurological studies in Brazil. [32] To help shape that new disciplinary field, he probably found inspiration for his organisational and scientific work from other countries. For this reason, he was active in intellectual circles from different countries, such as Germany, England, and, especially, France, where he met famous people, such as Joseph Jules François Félix Babinski (1857–1932), [33] widely recognized for his works on hysteria and the "toe phenomenon" (Babinski's reflex), and whose theories were brought to Brazil by Austregésilo. [34]

Austregésilo's international circulation was part of the larger framework of Franco-Brazilian networks of the first half of the 20th century. Considering the period between his graduation (1899) and the presentation of the bill proposing the construction of the Brazilian Student House in Paris (1926), it can be observed that Austregésilo maintained a strong and active presence in France. This inference can be attested by the circulation of his papers and books, which were cited in various French journals, such as *L'Encéphale*, the *Archives de médecine des enfants*, *L'Année psychologique*, and the *Revue de psychiatrie et de psychologie expérimentale*. [35] In this period, Austregésilo also published the following works in France: "Les Cénesthopathies" in 1914; "Le Mimétisme en Pathologie Mentale" in 1919; "Rhizopathies Lépreuses. Mémoire présenté à la première conférence américaine de la lèpre" in 1923; "Considérations sur les neuro-récidives mercurielles" in 1924; "Le phénomène de Babinski. Provoqué par l'excitation de la cuisse"

32 - Austregésilo is appointed as the pioneer of neurology in Brazil. Hélio A. G. Teive, Daniel Sá, Octavio Silveira Neto, Octavio A. da Silveira, Lineu Cesar Werneck, Professor Antonio Austregésilo: O pioneiro da Neurologia e do estudo dos distúrbios do movimento no Brasil, *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 57/3B (1999), 898–902. Hélio A. Ghizoni Teive, Sérgio M. Almeida, Walter Oleschko Arruda, Daniel S. Sá, Lineu C. Werneck, Charcot and Brazil, *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 59/2A (2001), 295–299.

33 - Mariz, *op. cit. in* n. 30.

34 - Marleide da Mota Gomes, Eliasz Engelhardt, Hysteria to conversion disorders: Babinski's contributions, *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 72/4 (2014), 318–321, p. 320.

35 - Mentions to Austregésilo's works can be found in the following: *L'Encéphale*, 1/3 (1906), 4/1 (1909), 4/3 (1909), 5/7 (1910), 8/2 (1913), 9/1 (1914), 15/1 (1920), 16/1 (1921); *Archives de médecine des enfants*, 20/11 (1917), 22/7 (1919); *L'Année psychologique*, vol. 24, year 1923 (1924); *Revue de psychiatrie*, 4th ser., 9/1 (1905); 5th ser., 10/1 (1906), 12/1 (1908); 6th ser., 13/7 (1909), 13/12 (1909), 14/9 (1910); 8th ser., 17/1 (1913), 18/1 (1914), 18/4 (1914).

in 1912; and "La prophylaxie des maladies mentales" in 1925.[36] It is important to note that the circulation of papers was a legitimate strategy Brazilian physicians adopted in the interwar period to reinforce their presence (and their ideas) in the French circles of medicine. Moreover, Brazilian scholars also used to participate in French scientific societies,[37] not only in the medical field but also in others as diverse as geology, as was the case of Alberto Betim Paes Leme (1883–1938), a former student of the École des Mines, at the Société Géologique de France.[38] Similar to his colleagues in Brazil, Austregésilo participated in the Psychiatry Society of Paris, for which he was elected as a foreign correspondent in 1912 and the National Academy of Medicine.[39] In 1920, Austregésilo and other Brazilian physicians served as Board members of the *Journal de psychologie*, directed by Pierre Janet and Georges Dumas.[40]

His activities in Brazil were also noticed in the French circles of medicine, such as his nomination as full professor of neurology in Rio de Janeiro in 1912;[41] his participation in Brazilian con-

36 - A. Austregesilo, F. Esposel, Les cénesthopathies, *L'Encéphale*, 9/5 (1914), 425–439. A. Austregesilo, Le mimétisme en pathologie mentale, *L'Encéphale*, 9-14/10–12 (1919), 352–358. A. Austregesilo, Rhizopathies lépreuses, *L'Encéphale*, 18/9 (1923), 589–592. A. Austregesilo, Considérations sur les neuro-récidives mercurielles, *L'Encéphale*, 19/5 (1924), 307–312. A. Austregesilo, F. Esposel, Le phénomène de Babinski: Provoqué par l'excitation de la cuisse, *L'Encéphale*, 7/5 (1912), 429–436. A. Austregesilo, La prophylaxie des maladies mentales, *La Prophylaxie mentale: Bulletin trimestriel de la Ligue d'hygiène mentale*, 1 (1925), 169–178.

37 - Magali Romero Sá, Larissa Moreira Viana, La science médicale entre la France et le Brésil: Stratégies d'échange scientifique dans l'entre-deux-guerres, *Cahiers des Amériques latines*, 65 (2010), 123–144.

38 - Silvia F. de M. Figueirôa, Minerals scrutinized: Alberto Betim Paes Leme (1883–1938) and the application of spectrography, *Centaurus*, 53/2 (2011), 164–175. Figueirôa, *op. cit. in* n. 6.

39 - Georges Dumas was a titular member of the Psychiatry Society of Paris. See Bulletin officiel de la société de psychiatrie de Paris: Séance du 18 janvier 1912, *L'Encéphale*, 7/2 (1912); Bulletin officiel de la société de psychiatrie de Paris: Séance du 15 janvier 1920, *L'Encéphale*, 15/2 (1920); Compte rendu officiel de la société de psychiatrie de Paris: Séance du 16 décembre 1926, *L'Encéphale*, 22/1 (1927). Austregésilo was elected as foreign correspondent of the National Academy of Medicine in February 1937, but he tried the position since at least 1933. Aloysio de Castro, from the School of Medicine of Rio de Janeiro, was also a foreign member. See *Bulletin de l'Académie nationale de médecine*, 20 June 1933 and 5 Jan. 1937.

40 - We found the names of Manoel Bomfim, Juliano Moreira, Afranio Peixoto and Franco da Rocha. *Journal de psychologie*, 17/5 (1920).

41 - *L'Informateur des aliénistes et des neurologistes*, 8/4 (1913).

ferences and events in honour of other Brazilian physicians; [42] his activities within the Brazilian League of Mental Hygiene; [43] his involvement in the events promoted by French diplomacy in Brazil. [44] Some of Austregésilo's trips to France in the 1920s were to represent the Instituto Franco-Brasileiro de Alta Cultura. This demonstrates the relevant connections between science and cultural diplomacy to this network of sociability. [45]

Analysing the occurrences of Austregésilo's name in French publications shows the remarkable interest of the press in his activities, which has grown over time. The year 1926 can be considered a milestone, especially after his engagement in the project to establish the Brazilian Student House at the CIUP. In February 1926, the newspaper *Le Gaulois* informed that Austregésilo was leaving for France in the following few days aboard the ship *Lutetia*. [46] He travelled with Tobias Moscoso [47] (1879–1928), a Full Professor at the Polytechnic School of Rio de Janeiro. On 25 March, both participated as lecturers in the Journée Brésilienne at the Sorbonne. [48] On that occasion, Dumas presented the history of the Instituto Franco-Brasileiro de Alta Cultura and its missions in Latin American countries. [49] In April, Austregésilo delivered the lecture "Troubles nerveux dans certaines maladies tropicales" at the amphitheatre of the Charcot Clinic in the La Salpétrière Hospital. [50]

That trip was an opportunity to strengthen the scientific and diplomatic ties between the two countries. The Brazilian Ambas-

42 - *L'Informateur des aliénistes et des neurologistes*, 18/5 (1923).
43 - The following publication presents in its section "Communiqués" a report on the 2nd Brazilian Congress of Neurology, Psychiatry and Legal Medicine, in which Austregésilo is mentioned as a participant: *L'informateur des aliénistes et des neurologistes*, 17/9 (1922).
44 - Les mondanités, *Le Gaulois*, 1 Nov. 1923, p. 2.
45 - See *L'Année psychologique*, vol. 26, year 1925 (1926), 744. On the connections between the Instituto and Brazilian science fields, see Pumar, *op. cit. in* n. 26.
46 - L'Amérique Latine, *Le Gaulois*, 9 Feb. 1926, 3.
47 - Tobias de Lacerda Martins Moscoso was professor at the Polytechnic School of Rio de Janeiro and a member of the Instituto Franco-Brasileiro de Alta Cultura. Victor Cruz e Silva, A trajetória de Tobias de Lacerda Martins Moscoso entre a Escola Politécnica e a Econometric Society: Uma história inacabada, *Estudos econômicos*, 51/1 (2021), 143–168.
48 - The arrival of Austregésilo and Moscoso was noticed by the French press. See L'Amérique Latine, *The New York herald*, 3 Mar. 1926, 5.
49 - L'Amérique Latine, *The New York herald*, 24 Mar. 1926, 5.
50 - L'Amérique Latine, *Le Gaulois*, 18 Apr. 1926, 3.

sador in Paris, Luiz Martins de Souza Dantas, was an essential element to this endeavour. By the end of March, Dantas had offered an official lunch to Dumas, Moscoso, Austregésilo, and his son (who probably travelled with him) and, according to *The New York herald* newspaper, he was also planning a future lunch for the "more eminent figures of French science." [51] On 15 April, Dantas introduced the President of the French Republic, Gaston Doumergue, to Austregésilo and Moscoso. [52] This meeting might be understood as a positive signal from Brazilian diplomacy about the capacity of Austregésilo and Moscoso, both members of the Instituto, to establish connections between the Brazilian scientific, university, political, and diplomatic fields, especially evident when we observe the subsequent developments of this meeting. Finally, on 28 April, Austregésilo was honoured with a dinner at the Cercle Paris-Amérique, organised by the French Association for the Development of Medical Relations (Association pour le Développement des Relations Médicales), together with another professor from the School of Medicine of Rio de Janeiro, Miguel de Oliveira Couto (1865–1934), who went to France to give lectures at the Faculté de Médecine de Paris. [53] Dantas, the Brazilian Ambassador, also took part in the dinner. [54]

Before their departure, another dinner was offered, this time by the Comité France-Amérique. It was planned to honour Austregésilo and Moscoso, as well as the French professors who were going to Latin America, namely: Marie Curie, Henri Piéron, Paul Hazard (the three from the Collège de France), Georges Küss, and Henri Laugier (director of the Physiology Department

51 - L'Amérique Latine, *The New York herald*, 30 Mar. 1926, 5. Original in French, *Prochainement, l'ambassadeur du Brésil donnera un grand déjeuner auquel assisteront les personnalités les plus éminentes de la science française.*

52 - L'Amérique Latine, *Le Gaulois*, 18 Apr. 1926, 3.

53 - Miguel Couto was an important personality in the Brazilian medical, educational, and political fields. Professor at the National School of Medicine of Rio de Janeiro, recognized by his works in medical clinic, member of the Brazilian National Academy of Medicine and of the Brazilian Academy of Letters, he was also deputy at the 1934 Constitution Assembly, whose bills were devoted to the national education. José Mario d'Almeida, Claudia Alves d'Almeida, Trajetória de vida de Miguel de Oliveira Couto (1865–1934), médico, educador e político, *Revista brasileira de pesquisa (auto)biográfica*, 5/14 (2020), 900–915.

54 - Chronique. L'actualité Neuro-Psychiatrique. L'Hygiène Mentale. L'Informateur des Aliénistes et des Neurologistes, *La Pédiatrie pratique: Journal de clinique et de thérapeutique infantiles*, 23 (1926), 552.

at the Sorbonne) to Brazil; Gustave Glotz (Faculté de Lettres) and Paul Rivet (Muséum Nationale d'Histoire Naturelle) to Argentina; and Alexandre Moret (Collège de France) to Uruguay. Other professors, also on their way to Latin America, did not attend the dinner.[55] The symbolic and diplomatic character of this event is visible not only through the motivations – the celebration of the Franco-Brazilian and Franco-Latin America exchanges of scholars from different disciplines – but when we consider the prominent figures who were also participating: the Brazilian Ambassador, Leão Velloso (councillor of the Brazilian Embassy), Gustave Lanson (director of the École Normale Supérieure), Edouard Quellennec (President of the Société des Lycées Franco-Brésiliens), Gaston Breton (director of the Compagnie des Chargeurs Réunis), Ernest Martinenche (director of the Groupement des Universités pour les Relations avec l'Amérique Latine), Dumas, and some others.[56] In the same period, Austregésilo and Moscoso were admitted as members of the Comité France-Amérique, following Dumas' indication.[57]

Austregésilo's circulation in France seems to have extrapolated the goals described by Mariz.[58] More than reinforcing cooperation between the two countries and organising his chair of Neurology in Rio de Janeiro based on the French school of medicine, the physician was also interested in strengthening the institutionalized instruments for the exchanges. Austregésilo's bill on creating the Brazilian Student House in Paris can be framed within this set of initiatives. Around two months after he arrived in Brazil, in July 1926, Austregésilo presented the bill to the Chamber of Deputies to be voted. In his speech, he highlighted the "French intellectual influence" in Brazil and the importance of Paris for the artistic and scientific development of the Brazilian people.[59] He emphasized that the CIUP had "the most modern, comfortable, magnificent, and hygienic installations" and that other Latin-origin countries were already providing houses for their students, such as Belgium, Canada,

55 - M. Mauduit (Faculté des Sciences de Nancy), who went to Brazil, and Charles Blondel (Faculté des Lettres de Strasbourg), who went to Argentina.
56 - Le départ des professeurs français pour l'Amérique Latine, L'Amérique Latine, *Le Gaulois*, 10 May 1926, 2.
57 - Les mondanités, *Le Gaulois*, 2 July 1926, 2.
58 - Mariz, *op. cit. in* n. 30.
59 - Pereira, *op. cit. in* n. 3, 93.

and, more importantly, Argentina. According to Austregésilo, Argentina did not “miss any opportunity to demonstrate to France its friendship and respect, and spared no effort to prove its will for the moral improvement and the desire of being closer to the spiritual mother of the Latin people [France].” At the end of the speech, he highlighted the old scientific and diplomatic Franco-Brazilian ties, expressed, for example, via the Brazilian participation in the construction of the Institut Pasteur, the organisation of the Instituto Franco-Brasileiro de Alta Cultura and the Brazilian cooperation with the French war effort. [60]

Austregésilo’s bill reverberated in both France and Brazil. [61] However, his idea would face some resistance from Brazilian society. On 27 August 1926, in the same speech cited to open the present paper, Austregésilo pondered that he could be accused of trying to privilege Brazilian students in Paris rather than focusing on creating a student residence in Rio de Janeiro. However, he remembered that one of his colleagues, Deputy Henrique Dodsworth, was already working on that proposal, therefore his idea was worth considering. [62] Austregésilo informed that he visited the CIUP and underlined that “the rooms

60 - The word in brackets is ours. Austregésilo, Autoriza o Governo a crear em Paris a Casa do Estudante Brasileiro (12 July 1926), *Diário do Congresso Nacional*, Finanças, 179, 36ª sessão, Congresso Nacional, Câmara dos Deputados, 13 July 1926, 1294 (Câmara dos Deputados, Brazil, archives). Original in Portuguese: *as mais modernas, commodas, magnificas e hygienicas installações [...] não perde opportunidade para demonstrar á França a sua amizade e o seu respeito, e que não poupa esforços para provar a sua ansia de aperfeiçoamento moral e o desejo de sua maior approximação da mãe espiritual dos povos latinos.*

61 - In his PhD dissertation, Pereira, *op. cit. in* n. 3, analysed the Franco-Brazilian cultural diplomacy during the post-Second World War and mentioned Austregésilo’s bill and discourse, as well as other events connected to the construction of the Maison du Brésil in Paris in the 1950s, and he found the sources in French diplomatic and State archives. Therefore, it can be inferred that the French authorities were aware of the efforts made by the Brazilians around that project. In our research, we found the notice in both French and Brazilian newspapers. See L’Amérique Latine, *The New York herald*, 20 July 1926, 10.

62 - In fact, the House of the Student of Brazil (Casa do Estudante do Brasil) was inaugurated in Rio de Janeiro in the early 1930s under the direction of Anna Amélia de Queiroz Carneiro de Mendonça. Maria Paulo Nascimento Araújo, *Memórias estudantis, 1937–2007: Da fundação da UNE aos nossos dias* (Rio de Janeiro: Relume Dumará, Fundação Roberto Marinho, 2007). Müller (2023), *op. cit. in* n. 3. Due to her political alignment, in the 1930s, this house was financed by the federal government, headed by the Getúlio Vargas. Müller (2023), *op. cit. in* n. 3. In the 1950s, Mendonça was nominated as the president of the Commission for the Construction of the Brazilian Pavilion at the CIUP. Müller (2022), *op. cit. in* n. 3.

are perfectly comfortable, there are theatres, sports grounds, an infirmary, all modest, yet elegant and hygienic."[63] Austregésilo responded to the criticisms made by the press, which stated his bill was elitist. In his defence, he argued that his intention was the opposite: he "imagined that the student, the newly graduated physician, the artist who leaves Brazil awarded, should find in Paris a relatively cheap life to improve their studies." Again, he reinforced that a residence for Brazilian students could offer the "best conditions of hygiene and comfort."[64] As we can see, the house concept was in line with the objectives of the CIUP: the offer of hygienic places for living and the reinforcement of internationalism.[65]

In this same speech, Austregésilo mentioned his most recent trip to France. According to him, the Parisian milieu was very interested in Brazilian culture. He cited the tributes paid to him and Professor Moscoso, concluding that all those demonstrations implied how vital the construction of a Brazilian house at the CIUP was. Another relevant aspect Austregésilo alluded to was the Franco-Brazilian network that supported the bilateral exchanges, illustrated by mentioning persons such as Georges Dumas. Among the Brazilians, Austregésilo stressed the role of Ambassador Dantas, who attended receptions in Paris, conferences, and took part in scientific circles. He also cited part of the institutions significant to those exchanges, such as the Agencia Americana, the university authorities, and the Franco-American associations. Finally, Austregésilo mentioned the banquet offered by the University of Paris to him and Professor Miguel Couto. Again, Austregésilo highlighted the patriotic character of his project, following the example of the other Latin countries already building houses for their students in Paris – the same argument he had previously used. Nevertheless, this time, he advocated for the less affluent students, for

63 - *Diário do Congresso Nacional*, 28 Aug. 1926, 2671 (Câmara dos Deputados, Brazil, archives). Original in Portuguese: *Os quartos são perfeitamente confortáveis, há theatros, terrenos para desportos, enfermaria, tudo modesto, porém elegante e hygienico.*

64 - *Diário do Congresso Nacional*, 28 Aug. 1926, 2671 (Câmara dos Deputados, Brazil, archives). Original in Portuguese: *[...] imaginei que o estudante, o médico recém--formado, o artista que daqui sahe premiado, deve encontrar em Paris uma vida relativamente barata para aprimorar seus estudos [...] nas melhores condições de hygiene e commodidade.*

65 - Frank, *op. cit. in* n. 16.

whom the construction of the Brazilian Student House in Paris could significantly enhance their career prospects. [66] Therefore, Austregésilo's speech emphasized not only the strengthening of scientific cooperation between the two countries but also the possibility of Brazil exerting influence over France through the house. In other words, the deputy defended his project – the building of a scientific-diplomatic object – by using the competition between nations as an argument, delineating something we could understand as an effort towards promoting soft power. [67]

Austregésilo's actions were directly related to the Brazilian cultural diplomatic strategies of the interwar period. At that time, Brazil had consolidated its cultural diplomatic policies, which included the scientific sphere. At the beginning of the 20th century, one of the strategies adopted by the Brazilian Ministry of Foreign Affairs was to create a new image of the country abroad to gain prestige among other countries. In the 1920s, the strategies focused on organising commercial, industrial, and intellectual exchanges. Regarding the latter, we emphasise Brazil's participation from 1925 onwards in the International Institute of Intellectual Cooperation, which preceded UNESCO. Élysée Montarroys, the Brazilian delegate to this institution, developed an approach emphasizing the importance of culture in international relations, asserting that Brazilian publicity abroad was closely tied to intellectual initiatives. [68]

Austregésilo was deeply engaged in the international exchanges of Brazilian scholars, not only the physicians and not exclusively towards France. On 24 August 1926, simultaneously with his defence of constructing the student house in Paris, Austregésilo presented another bill to the Chamber of Deputies in Rio de Janeiro. This time, he defended the creation of the Pan-American Institute of High Culture, which was idealized by Antônio Xavier de Oliveira, another physician who was active in the Brazilian

66 - *Diário do Congresso Nacional*, 28 Aug. 1926, 2670 (Câmara dos Deputados, Brazil, archives).
67 - Ruffini, *op. cit. in* n. 11.
68 - Juliette Dumont, Anaïs Fléchet, "Pelo Que é Nosso!": A Diplomacia Cultural Brasileira no Século XX, *Revista brasileira de história*, 34/67 (2014), 203–221.

press advocating for inter-American intellectual cooperation.[69] According to Dumont-Quessard, scientists and physicians were the forerunners in promoting cooperation among American countries. More than that, she emphasises that Oliveira and Austregésilo shared the idea that academic cooperation was synonymous with promoting Brazil abroad and that organising medical conferences was a way to promote the flow of scholars.[70] The first Pan-American Medical Congress was organised by the American Medical Association in 1893 in Washington. In the first decades of the 20th century, Latin American countries organised their own congresses and scientific exchanges to share ideas, promote international cooperation, and develop teaching and learning spaces. Moreover, the Latin American Congress of Medicine influenced institutional and political decisions in the respective countries. In addition to physicians and professors, there were also politicians, diplomats, and ambassadors among the participants.[71]

Considering Brazilian strategies to develop cultural foreign policies, diplomatic authorities closely followed Austregésilo's activities in France. As already mentioned, Ambassador Dantas used to participate in scientific meetings promoted by the School of Medicine of Paris and other celebrations organised by Franco-Brazilian institutions. Furthermore, Dantas frequently informed the Brazilian Ministry of Foreign Affairs in Rio de Janeiro about the activities developed by Austregésilo in France. For example, in June 1926, he sent an official telegram reporting Austregésilo's participation as the speaker of the opening conference of an international congress on neurology.[72] Dantas also informed the Brazilian authorities about the repercussions, in

69 - In 1930, Oliveira published the work *Intercambio intellectual americano: Constribuição brasileira á creação do "instituto inter-americano de cooperação intellectual."* Juliette Dumont-Quessard, "De la coopération intellectuelle à la diplomatie culturelle: Les voies/x de l'Argentine, du Brésil et du Chili (1919–1946)," PhD thesis (Université Paris-III – Sorbonne Nouvelle, 2013).

70 - Dumont-Quessard, *op. cit. in* n. 69.

71 - Marta de Almeida, Circuito aberto: Idéias e intercâmbios médico-científicos na América Latina nos primórdios do século XX, *História, ciências, saúde: Manguinhos*, 13/3 (2006), 733–757.

72 - Telegram from Dantas to the Brazilian Ministry of Foreign Relations, 227/3/9, Telegramas Recebidos – Paris, 30 Mar. 1926 (Arquivo Histórico do Itamaraty, Rio de Janeiro, Brazil).

the French press, of Austregésilo's bill on the Student House.[73] During that time, Dantas took the initiative to ask the Brazilian Minister of Foreign Affairs about the progress regarding the approval of Austregésilo's bill as the French authorities were also waiting for an official position from Brazil.[74]

The Brazilian President, Washington Luís Pereira de Souza, finally signed the project on 5 January 1929.[75] Decree no. 5.612 (26 December 1928) established that:

> The President of the Republic of the United States of Brazil:
>
> I make it known that the National Congress has decreed, and I sanction the following resolution:
>
> Art. 1 The government is authorised to create the Brazilian Student House in Paris.
>
> Art. 2 The Brazilian Student House aims to facilitate the material life of Brazilian students in the French capital.
>
> Art. 3 The government will allocate a credit of one thousand million *réis* (1,000:000$000) to construct the building at the Cité Universitaire in Paris.[76]

73 - Letter from Dantas to the Brazilian Ministry of Foreign Relations, Paris – Ofícios 226/4/5, 18 Sept. 1926 (Arquivo Histórico do Itamaraty, Rio de Janeiro, Brazil).

74 - Telegram from Dantas to the Brazilian Ministry of Foreign Relations, Paris – Telegramas recebidos 227/3/10, 6–7 Jan. 1927. See also: Telegram from Dantas to the Ministry of Foreign Relations, Paris – Telegramas recebidos 227/3/10, 1927, 5–6 Jan. 1927 (Arquivo Histórico do Itamaraty, Rio de Janeiro, Brazil).

75 - Müller (2023), *op. cit. in* n. 3.

76 - According to the *New York herald* newspaper, this amount was equivalent to about 6 million francs. To have an idea, in 1926, 350,000 francs was enough to pay for a furnished *petit château* with a park, 10 hectares, apple trees etc., in Évreux, Normandie. An apartment (mansion style) at Parc Monceau, Paris, near the metro station, with 2 bedrooms, bathroom, kitchen, office, winter garden, central heating, etc., was about 210,000 francs. See: Le Figaro immobilier & mobilier, *Le Figaro*, 30 Apr. 1926, 6. Brazilian students may get centre here, *The New York herald*, 17 Sept. 1926, 7.

Art. 4 All contrary provisions are hereby revoked. [77]

According to Pereira, Austregésilo's bill was approved following the influence of the French senator, Fernand Faure, and Georges Dumas on the Brazilian elites. [78] During one of his trips to Brazil, Faure also met the entrepreneur Octavio Guinle, considered a "friend of France," who decided to contribute a part of the budget needed to construct the house. [79] Moreover, the friendship between the Guinle and Ozório de Almeida's families may also have contributed to Octavio's commitment. [80] As mentioned, Miguel Ozório de Almeida was very close to Dumas and a member of Franco-Brazilian institutions. [81]

In addition to the physicians and members of the Groupement, we also noticed the involvement of the geologist Alberto Betim, who was mentioned earlier in this article. In a letter sent in August 1929 to the president of the CIUP, André Honnorat, Betim informed that the Brazilian Congress had already authorised a credit of around 3 million francs. However, they were still waiting for a decree signed by the President of Brazil, which was meant to be done soon. [82] In response, Honnorat expressed his gratitude for the information and his concerns about when Am-

77 - Portal da Câmara dos Deputados. Legislação. Decreto n. 5.612 de 26 de dezembro de 1928, *Diário oficial da União*, seção 1, 5 Jan. 1929, 405. Available at: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1920-1929/decreto-5612-26-dezembro-1928-561387-publicacaooriginal-85007-pl.html, accessed on 19 Jan. 2023. Original in Portuguese: *O Presidente da Republica dos Estados Unidos do Brasil: Faço saber que o Congresso Nacional decretou e eu sancciono a resolução seguinte: Art. 1º Fica o Governo autorizado a crear em Paris a Casa do Estudante Brasileiro. Art. 2º A Casa do Estudante Brasileiro tem por fim facilitar a vida material dos estudantes patricios na capital franceza. Art. 3º O Governo abrirá o credito de mil contos papel (1.000:000$000), para a construcção do edificio na Cité Universitaire, situada em Paris. Art. 4º Revogam-se as disposições em contrario.*

78 - Pereira, *op. cit. in* n. 3.

79 - Pereira, *op. cit. in* n. 3, 94. Guinle was a Franco-Brazilian family with circulation among the most elitist circles of Rio de Janeiro. During the 20th century, they were responsible for funding different types of enterprises, from the scientific, such as the Gaffrée & Guinle Hospital and the Oswaldo Cruz Foundation, to the more luxury, such as the Copacabana Palace Hotel. Gisele Sanglard, *Entre os salões e o laboratório: Guilherme Guinle, a saúde e a ciência no Rio de Janeiro, 1920–1940* (Rio de Janeiro: Ed. Fiocruz, 2008). Clóvis Bulcão, *Os Guinle: A história de uma dinastia* (Rio de Janeiro: Intrínseca, 2015).

80 - Sanglard *op. cit. in* n. 79.

81 - Petitjean, *op. cit. in* n. 26.

82 - Letter from Alberto Betim to André Honnorat – 77-050 – 20090013/1122, 17 Aug. 1929 (Paris, France, Archives Nationales).

bassador Dantas would actually be instructed to discuss the contract terms with the University of Paris' rector. That fact was indeed a decisive stage for the actual construction of the building to begin. [83]

When the Brazilian Ministry of Foreign Affairs assigned Dantas to choose the lot where the house should be built, [84] Dantas reinforced Honnorat's concern. Although the CIUP's president affirmed that "Brazil [would] always have the place it wishes," the most important issue at that moment was the budget, which was around 5 million francs. [85] In any case, the preparation plans for the future residence continued. A few days later, Dantas sent the building construction rules for the house on the CIUP to the Brazilian Minister. Based on this document, it is clear that the Brazilian Student House was from the outset intended to accommodate not only young students but also professors, physicians, and other intellectuals. [86] The press reported that Octavio Guinle visited the site where the house was to be built and expressed his intention to donate one million five hundred thousand (1,500,000) francs, which could help resolve part of the budgetary concerns. [87]

Analysing the diplomatic documents from the period suggests that the Brazilian Student House, as proposed by Austregésilo in his bill, was intended to be constructed in the early 1930s. However, by the end of 1930, a significant shift had happened: Getúlio Dornelles Vargas (1882–1954) assumed the presidency of Brazil, remaining in charge of the country for the next

83 - Letter from André Honnorat to Alberto Betim – 77-050 – 20090013/1122, 7 Nov. 1929 (Paris, France, Archives Nationales).
84 - Telegram from the Brazilian Ministry of Foreign Relations to the Brazilian Embassy in Paris, Paris – Telegramas recebidos 227/3/11, 23 Nov. 1929 (Arquivo Histórico do Itamaraty, Rio de Janeiro, Brazil).
85 - Letter from Dantas to the Brazilian Ministry of Foreign Relations, Paris – Ofícios 226/4/10, 20 Jan. 1930 (Arquivo Histórico do Itamaraty, Rio de Janeiro, Brazil).
86 - Letter from Dantas to the Brazilian Ministry of Foreign Relations Paris – Ofícios 226/4/10, 20 Jan. 1930 (Arquivo Histórico do Itamaraty, Rio de Janeiro, Brazil).
87 - Um banquete ao sr. Octavio Guinle, *Correio Paulistano*, 6 May 1928, 9 (Hemeroteca Digital / Fundação Biblioteca Nacional, Brazil, archives). Académies, universités, écoles, *Le Temps*, 7 Jan. 1928, 4.

15 years.[88] His authoritarian and nationalist political agenda and the international political framework probably interrupted the house's construction plans. The project was resumed only after the Second World War, in 1945, when France sent a scientific and diplomatic mission to Latin American countries, coordinated by Joseph Louis Pasteur Vallery-Radot[89] (1886–1970), to re-establish the previous cooperation networks.[90]

Although Austregésilo was no longer a member of parliament in the 1940s and he did not become involved again in the efforts to organise the future Maison du Brésil, his Franco-Brazilian network was still active. This was the case of Branca de Almeida Fialho, who argued in favour of creating a foyer for the reception of Brazilian students in Paris to the Pasteur Vallery-Radot mission.[91] In 1948, while working as Director of International Relations for the Brazilian Association of Education, Fialho delivered a conference on the importance of building a residence at CIUP. As a result of her talk, the idea was presented to the Brazilian Institute for Education, Science, and Culture (IBECC) by one of its members, Levi Carneiro.[92] Then, the IBECC established the "Commission for building the Brazilian pavillion in the Cité Internationale Universitaire de Paris," presided by Anna Amélia de Queiroz Carneiro de Mendonça, former Director of the Brazilian Student House in Rio de Janeiro.[93] In 1950, following the works

88 - Getúlio Vargas occupied the Brazilian Presidency from 1930 to 1945. After this dictatorial period, he re-assumed the presidency in 1951 after popular vote and remained in power until 1954. For more information, see Boris Fausto, Sergio Fausto, *A concise history of Brazil*, 2nd ed. (Cambridge: Cambridge University Press, 2014), 193–272.

89 - Pasteur Vallery-Radot was a French physician, grandson of Louis Pasteur, professor at the Faculté de Médecine de Paris, and member of the French Academy of Medicine. He participated in medicine-military missions in conflict areas and was very active in both the academic and the diplomatic fields. Wladimir D'Ormesson, Pasteur Vallery-Radot ou le savant humaniste, *Revue des deux mondes*, January 1971, 17–26.

90 - Pereira, *op. cit. in* n. 3.

91 - Mission Vallery-Radot. Maison Brésilienne à la Cité Universitaire, [1945], DGRCST, Enseignement, 238QO/147 (Centre des Archives Diplomatiques de La Courneuve, France).

92 - Reuniu-se a Associação Brasileira de Educação, *Correio da Manhã*, 30 Apr. 1948, 12 (Hemeroteca Digital / Fundação Biblioteca Nacional, Brazil, archives).

93 - Müller (2023), *op. cit. in* n. 3. On the first years of the Maison du Brésil and its role during the May 1968 political environment, see Müller (2022) *op. cit. in* n. 3 and Angélica Müller. "Subversion et désordre:" les années 68 de la maison du Brésil vues par les militaires brésiliens, *Matériaux pour l'histoire de notre temps*, 127–128/1 (2018), 55–60.

of this commission, another bill was presented to the Brazilian Chamber of Deputies, in which the importance of strengthening the Brazilian-French scientific cooperation was remarkable. This bill was approved, and in 1952, the Brazilian government appointed the architect Lúcio Costa to draw up the first plan for the house. Costa accepted the invitation and designed a house for 100 residents. However, as he could not stay in Paris to develop and follow the construction of the building, he forwarded his project draft to the Le Corbusier atelier. On 24 June 1959, the Maison du Brésil was finally officially inaugurated. [94]

The Brazilian Student House in Paris as a scientific-diplomatic object: final remarks

Austregésilo's bill is not unknown within the historiography of the Maison du Brésil, as already shown by the studies of Pereira and Müller. [95] However, the main objective of the present paper was to take a step back to analyse in detail how and why Austregésilo proposed the bill. As mentioned, although he was one of the most important personalities in the organisation of the project, when we consider the Brazilian Student House in Paris as a scientific-diplomatic object, a broader network of scholars and institutions can be identified: the Groupement des Universités et Grandes Écoles de France pour les Relations avec l'Amérique Latine, founded at the Collège de France in 1907; the professor, physician, and psychologist George Dumas, Groupement's representative in Brazil; the professor and physiologist Miguel Ozório de Almeida; the French institutions in Brazil; the Franco-Brazilian institutions in France; the bilateral exchange of French and Brazilian scholars; the diplomatic body in general and the Brazilian ambassador in France, Luiz Martins de Souza Dantas, particularly; the professor and mathematician Paul Appell, who participated in the foundation of both institutions, the CIUP and the Groupement. Therefore, Austregésilo's itinerary in Paris in the first half of 1926 can be understood as both a synthesis and an unfolding of this network of academic,

94 - Müller (2023), *op. cit. in* n. 3.
95 - Pereira, *op. cit. in* n. 3, Müller (2023), *op. cit. in* n. 3.

personal, and political relationships, with the concept of the Brazilian Student House in Paris at its core.

The present study discussed how a network of Brazilian professors and researchers – part of them trained in France and some with significant international careers – projected their scientific ambitions on the other side of the Atlantic Ocean as part of a national identity project. Austregésilo's speech defending the house as a "highly patriotic project" exemplifies this idea. As the anthropologist Ceres Brum pointed out, the Maison du Brésil in Paris can be interpreted as a "Brazilian territory in Paris." [96] Following her thoughts, we could also understand that the house's founders were trying to create a Brazilian territory abroad, not restricted to the physical and institutional borders of the house. On the other side of the agreements, the French scientific, university, and diplomatic fields had their own interests in inviting foreign countries to build national houses on their land. As well demonstrated by Tronchet, the university diplomacy practiced by the University of Paris and the ideals shared by the CIUP's founders aligned with the French foreign relations policy; the word "International" in the name of the campus did not mean the whole world, but rather a restricted list of countries. [97] Thus, Müller emphasises that the presence of Brazil in the first years of the CIUP represents both the Brazilian reflection on its national identity from an international perspective and the French imperial university diplomacy. [98]

The project defended by Austregésilo in the Chamber of Deputies in 1926 was part of this set of Franco-Brazilian initiatives to strengthen and institutionalise the circulation of young Brazilian scholars in France. Austregésilo was not born into an affluent family, and in his speeches, he often emphasised that the project did not intend to benefit the wealthiest people. All the opposite: his idea was to open up possibilities of recently graduated professionals pursuing postgraduate studies in France. At the same time, he was not alone. Austregésilo was an essential voice with a seat in the Parliament, and therefore

96 - Ceres Karam Brum, *Maison du Brésil: Um território brasileiro em Paris* (Porto Alegre: Evangraf, 2014).
97 - Tronchet, *op. cit. in* n. 12.
98 - Müller (2022), *op. cit. in* n. 3.

he was the project's author. However, in our understanding, he, in fact, epitomized and shaped a project conceived by some (or several) other scientists and intellectuals.

The present article has also endeavoured to contribute to the theoretical field of historical studies of science diplomacy. Thus, we understand the scientific-diplomatic object as an immaterial enterprise that mobilises scientific and diplomatic individuals and institutions that interact with each other to promote both international cooperation and competition. Therefore, the complexity of social actors involved with this first proposal indicates that the Brazilian Student House in Paris in the 1920s was not only Austregésilo's particular "high patriotic project" but the result of a set of ambitions from both Brazilian and French scholars who aspired, among other goals, to foster cultural and scientific publicity of their countries abroad. This complexity of relations shaped the idea of a scientific-diplomatic object, where both countries' diplomatic and scientific authorities were interested in aligning it with their foreign policies. Although Austregésilo's project did not actually emerge when it was planned, that first initiative of a Brazilian student house in Paris can be considered an example of how science diplomacy also works for the competition among nations, which corroborates Ruffini's theoretical arguments.[99]

99 - Ruffini, *op. cit. in* n. 11.

Tab. 1
French and Brazilian personalities directly related to Austregésilo's bill of 1926, their institutions and functions in the 1920s

Name	*Institution*	*Function*
Alberto Betim Paes Leme (1883-1938)	National Museum; Polytechnic School of Rio de Janeiro; Brazilian Academy of Sciences	Full Professor and researcher
André Honnorat (1868-1950)	Cité Internationale Universitaire de Paris – CIUP	CIUP's founder and first president
Antônio Austregésilo Rodrigues de Lima (1876-1960)	Faculdade Nacional de Medicina; Chamber of Deputies	Full Professor and researcher; Federal Deputy
Branca de Almeida Fialho (1896-1965)	Brazilian Association of Education – ABE	Founder (1924)
Fernand Faure (1853-1929)	French Senate	Senator (1924-1929)
Georges Dumas (1866-1946)	Sorbonne; Groupement des Universités et Grandes Écoles de France pour les Relations avec l'Amérique Latine	Full Professor and researcher; Groupement's representative in Brazil
Joseph Louis Pasteur Vallery-Radot (1886-1970)	Faculté de Médecine de Paris	Full Professor
Luiz Martins de Souza Dantas (1876-1954)	Brazilian Embassy in Paris	Ambassador
Miguel Ozório de Almeida (1890-1953)	Escola Superior de Agricultura e Medicina Veterinária; Instituto Oswaldo Cruz (Manguinhos); Brazilian Academy of Sciences	Professor; Researcher; President (1929; 1931)
Octavio Guinle (1886-1968)	Entrepreneur	Offered a donation to build the residence
Paul Émile Appell (1855-1930)	University of Paris	Professor and President
Tobias de Lacerda Martins Moscoso (1879-1928)	Polytechnic School of Rio de Janeiro	Full Professor

Sources: Mariz, *op. cit. in* n. 30, Tronchet, *op. cit. in* n. 12, Pereira, *op. cit. in* n. 3, Pumar, *op. cit. in* n. 26, Petitjean, *op. cit. in* n. 24, Consolim, *op. cit. in* n. 25, Figueirôa, *op. cit. in* n. 38, D'Ormesson, *op. cit. in* n. 89.

SOURCES ET RECHERCHE

Quelques témoignages en hommage à Everett Mendelsohn

Recherches scientifiques à Harvard

Claude Debru *
Armelle Debru **
Anne Marie Moulin ***

Témoignage de Claude Debru

Everett Mendelsohn : l'histoire des sciences à Harvard

Pendant de longues années, Everett Mendelsohn (1931-2023) a été l'âme du Département d'histoire des sciences de Harvard, qui était le Département phare du domaine sur le plan international. Ce Département a accueilli un grand nombre d'étudiants étrangers de toutes origines, qui ont pu ainsi profiter des ressources scientifiques et humaines considérables de l'Université et plus largement des institutions académiques bostoniennes.

Né le 28 octobre 1931 à New York, seul enfant d'un immigrant venu de Roumanie, Everett Mendelsohn est décédé le 6 juin 2023 à Cambridge (Mass.) à l'âge de 91 ans. Lycéen doué pour les sciences, il entreprit des études de biologie et d'histoire à Antioch College dans l'Ohio où il obtint son BS en 1953, déjà sensibilisé à la problématique « science et société ». Il rejoignit Har-

* Claude Debru, Centre d'archives en philosophie, histoire et édition des sciences, 29, rue d'Ulm, 75 005 Paris. Email : claude.debru@ens.psl.eu.

** Armelle Debru, Université Paris-Cité, 12, rue de l'École-de-Médecine, 75 006 Paris. Email : debru.armelle@gmail.com.

*** Anne Marie Moulin, Université Paris-Cité, laboratoire SPHERE, bât. Olympe de Gouges, 8, rue Albert-Einstein, 75 013 Paris. Email : anne.saintromain@gmail.com.

vard en 1953 et s'affilia au groupe d'histoire des sciences animé par I. Bernard Cohen (1914-2003). En 1960, il obtint son PhD en histoire des sciences sur le développement de la théorie de la chaleur animale, Thomas Kuhn (1922-1996) siégeant dans la commission [1]. Il commença à enseigner à Harvard comme assistant en 1961. Très actif, il y fonda en 1963 le *Journal of the history of biology* dont il fut l'éditeur pendant 31 ans. Cette revue fondée pour accueillir les travaux de jeunes chercheurs devint une référence mondiale. En 1965 il commença à donner un cours sur le Contexte social de la science, n'hésitant pas à aborder les questions les plus épineuses. On connait le succès ultérieur de la problématique *science in context*. Ayant pu assister moi-même à certains de ses enseignements en 1979-1980, je puis attester de son engagement d'enseignant, de l'énergie et de la vitalité qu'il y mettait. Auparavant, j'avais brièvement aperçu Everett Mendelsohn à l'Institut d'histoire des sciences de la rue du Four à Paris à l'occasion d'un colloque, ce qu'il m'a rappelé ultérieurement, se souvenant des discussions animées entre Michel Serres (1930-2019) et François Dagognet (1924-2015). Il s'agit vraisemblablement du colloque sur Cuvier organisé par Georges Canguilhem (1904-1995) en 1970. Je peux témoigner de l'ouverture d'esprit qui régnait dans le Département d'histoire des sciences de Harvard par une anecdote. Comme *visiting scholar* en 1979-1980, j'étais accompagné par mon épouse Armelle Debru, qui a été conviée à présenter une séance de séminaire sur l'ouvrage de Michel Foucault (1926-1984) *Surveiller et punir*. Cette séance eut lieu avec la collaboration de Claire Ambroselli (1943-), autre *visiting scholar* dans le Département, qui fit également un séminaire sur *L'Histoire de la folie*. Tout cela témoignait d'une grande curiosité sur ce qui se passait ailleurs. Le Département, situé dans le Science Center, fonctionnait comme une sorte de famille, dont l'esprit de convivialité était entretenu, entre autres, par une doctorante, Joy Harvey (1934-), et par l'assistante administrative Elizabeth « Betsy » Smith (1932-2022). Lorsque quelque problème se posait, la réponse était : « Demandez à Betsy ! » Invariablement, une solution venait. Les séminaires, fréquents, étaient ouverts, le contact entre chercheurs favorisé, les réceptions habituelles. L'interaction était la règle. Surtout, ce qui était recher-

1 - Everett Mendelsohn, *Heat and life : The development of the theory of animal heat* (Cambridge, Mass. : Harvard University Press, 1964).

ché et valorisé était la capacité d'un chercheur de « faire la différence ».

Everett Mendelsohn n'était pas seulement une des personnalités les plus remarquées de Harvard en raison de la diversité de ses intérêts et engagements académiques. Il était aussi une personnalité géopolitique de dimension mondiale. Je me souviens d'une réunion qu'il avait organisée à son domicile en 1980 lors de la crise des otages américains à Téhéran, qui eut lieu sous la présidence de Jimmy Carter (1924-2004). La tension était palpable, la guerre pouvant être déclenchée. Très actif dans les dialogues internationaux, Everett Mendelsohn n'a malheureusement pas pu voir la paix au Proche-Orient qu'il avait tellement cherché à promouvoir. J'ai eu l'occasion de revoir Everett Mendelsohn pour la dernière fois lors d'un déplacement d'étudiants de l'École normale supérieure au Département d'histoire des sciences de Harvard en 2012. Je l'y ai retrouvé tel qu'en lui-même, accueillant, souriant et sérieux, avec son épouse l'économiste Mary B. Anderson (1939-), dans l'appartement qu'il occupait alors sur Memorial Drive et qui avait été celui du biochimiste John T. Edsall (1902-2002), du Département de biologie de Harvard, où ce dernier m'avait reçu. Tant de fils s'étaient croisés, et se sont recroisés, dans l'air vivifiant de la Nouvelle Angleterre. Personnalité rayonnante, engagée et engageante, Everett Mendelsohn représentait de la meilleure manière un certain esprit universaliste qui constitue une mission essentielle de l'Université en général. Au moment où l'université Harvard est la cible de certaines attaques, il est nécessaire de rappeler le rayonnement exceptionnel de cette institution.

La biochimie des protéines à Harvard

Boursier du Ministère des affaires étrangères, j'ai rejoint le Département d'histoire des sciences de Harvard à l'automne 1979 en vue de progresser dans la rédaction de ma thèse, entreprise sous la direction de François Dagognet, sur l'histoire et les développements récents de la biochimie des protéines. Aller à Harvard me permettait de puiser aux meilleures sources. J'avais été amené à effectuer ce séjour à la suite d'un certain nombre de circonstances, dont un conseil de François Jacob (1920-2013), qui changea toute ma vie : celui de rencontrer un biochimiste des protéines, Jeffries Wyman (1901-1995), ancien chercheur de Harvard qui séjournait à l'époque à Rome. Ce projet fut également facilité par une lettre de recommandation adressée à Everett Mendelsohn par Georges Canguilhem. À Harvard, je fus pris en charge par le Professeur John Edsall, personnalité marquante de la biochimie des protéines, et auteur avec Jeffries Wyman de l'ouvrage classique *Biophysical chemistry* [2]. John Edsall était aussi l'éditeur du *Journal of biological chemistry* et le co-éditeur du journal *Advances in protein chemistry*. Membre du Département de biologie, il était également associé au Département d'histoire des sciences. À Harvard, j'ai aussi fréquenté le séminaire des biologistes Stephen Jay Gould (1941-2002) et Richard Lewontin (1929-2021), où j'avais été attiré par John Beatty (1951-). J'ai rencontré le biologiste Ernst Mayr (1904-2005), et partagé un bureau avec Peter Galison (1955-), qui était en train de devenir l'un des deux ou trois principaux historiens de la physique au monde. L'esprit d'ouverture, l'interdisciplinarité étaient des mots d'ordre qui n'avaient pas encore converti la vieille Europe. Le chemin de Harvard avait été emprunté quelque temps auparavant par Pierre Jacob (1947-), le fils de François Jacob, qui y prépara sa thèse de philosophie sous la houlette du très prestigieux philosophe Willard Van Orman Quine (1908-2000). Le chemin de Harvard fut ensuite pris par Anne Marie Moulin (1944-) et par François Delaporte (1941-2019). Mais Harvard était aussi un nœud central dans un réseau d'autres institutions. C'est ainsi que je pus donner un séminaire au Département d'histoire de la médecine de l'université Yale à l'invitation de Frederick L. Holmes (1932-2003).

Dans ce milieu bouillonnant, ma thèse allait prendre une nouvelle dimension et orientation. Comme philosophe historien, de la branche canguilhemienne, je m'étais d'abord attaché à retracer le contexte historico-scientifique qui avait vu l'émergence de la biochimie malgré les nombreux obstacles philosophiques qui, au cours du dix-neuvième siècle, avaient parsemé sa route. Ce travail avait été largement engagé avant mon séjour à Harvard. Pour la partie plus contemporaine, suivant là encore une leçon

2 - John T. Edsall, Jeffries Wyman, *Biophysical chemistry*, vol. I (New York : Academic Press, 1958).

canguilhemienne, j'ai limité mon sujet aux protéines, dont l'hémoglobine, pour mieux le traiter. Comme étudiant à la Faculté des sciences de Paris, j'avais été sensibilisé à la physicochimie biologique et à la biologie moléculaire qui venait d'émerger. J'étais donc déjà préparé à recevoir tout ce qui pouvait m'être donné. Au centre de tout cela, se trouvait le célèbre modèle de transition allostérique des protéines proposé par Jacques Monod (1910-1936), Jeffries Wyman (1901-1995) et Jean-Pierre Changeux (1936-) en 1965. Ce qui m'intéressait dans ce modèle d'un point de vue épistémologique était l'impact scientifique de la tradition américaine de thermodynamique chimique qui remontait, à la fin du dix-neuvième siècle, à l'œuvre du physicien Josiah Willard Gibbs (1839-1903), lequel avait établi certains fondements des variations d'énergie dans les réactions chimiques (variation d'énergie libre de Gibbs), et dont j'ai étudié les ouvrages. Jeffries Wyman était un digne héritier de cette tradition, qu'il a enrichie et appliquée à l'analyse des réactions d'oxygénation de l'hémoglobine, protéine centrale pour ma thèse. Le tutorat rapproché de John Edsall, le retour momentané à Cambridge de Jeffries Wyman dont les travaux mathématiques s'approfondissaient, la fréquentation assidue des magnifiques bibliothèques de Harvard, la Widener Library et d'autres m'ont permis de pénétrer dans le cœur de ma thèse d'*Histoire et philosophie biochimiques*, et d'en approfondir les aspects théoriques. Je ne pourrai donner de ces recherches qu'un résumé extrêmement simplifié.

L'engouement suscité par le modèle de transition allostérique de Monod, Wyman et Changeux résidait dans le fait très nouveau que ces chercheurs étaient devenus capables de corréler des régulations physiologiques à des variations de conformation de macromolécules protéiques, comme l'hémoglobine ou des enzymes. Selon ce modèle, qui a pu être contesté par la suite, la transition « allostérique » (terme inventé par Monod) consistait dans la variation des positions relatives des sous-unités entre elles (quatre dans le cas de l'hémoglobine) avec conservation de la symétrie d'ensemble (clause qui a fait couler beaucoup d'encre). Ce processus dit « concerté » s'accompagnait de modifications d'affinité chimique pour les molécules qui s'y fixaient (comme l'oxygène). Pour la première fois, la fonction était expliquée par des variations de structure. Cette conception était étayée par certains résultats préliminaires obtenus par la cristallographie aux rayons X sur la molécule d'hémoglobine, au prix de très longs travaux, par Max Perutz (1914-2002) à Cambridge (Angleterre). Cependant, l'élaboration théorique devait prendre également la voie fonctionnelle, ce qu'elle ne pouvait faire que par la thermodynamique, l'étude des variations d'énergie au cours des réactions. Le formalisme développé par Jeffries Wyman, ses propres travaux de longue durée sur l'hémoglobine convenaient à cela. Ce chercheur avait été en effet invité par Jacques Monod à donner un séminaire à l'Institut Pasteur en 1964. Dans son essence mathématique, la conception de Wyman consistait dans une approche statistique des « fonctions liées ». La protéine apparaissait comme le vecteur d'une liaison entre fonctions (degrés d'oygénation, interaction avec le gaz carbonique). Il n'est pas possible de présenter dans le cadre de cette revue tous les détails techniques de ce cœur physicochimique de la biologie moléculaire. Soulignons cependant qu'il reste valide par delà la variété des modèles. Le modèle allostérique de Monod, Wyman et Changeux a été concurrencé par le modèle d'adaptation induite de l'enzymologiste Daniel Koshland (1920-2007), selon lequel l'enzyme s'adapte à la forme du substrat.

La problématique des relations structure-fonction en biologie est bien ce qui m'a passionné dans ce travail épistémologique, mais elle ne permettait de ne soulever qu'un coin du voile. À l'époque, la phylogénie, la profondeur évolutive, échappaient encore à l'analyse, même si l'approche comparative de molécules analogues dans le règne animal se concrétisait. Surtout, mon travail m'a révélé la puissance de la science américaine, dont j'étais bien ignorant à l'époque. Ma thèse a été soutenue sous la direction de François Dagognet et sous la présidence de Gilles-Gaston Granger (1920-2016) à Lyon en 1982 [3].

Claude Debru

3 - Claude Debru, *L'Esprit des protéines : Histoire et philosophie biochimiques* (Paris : Hermann, 1983).

Témoignage d'Armelle Debru

C'était une rare aubaine de pouvoir venir quelques mois à Harvard sans examen ni candidature, en toute liberté et avec la seule qualité d'être *spouse*. Dans le cadre fabuleux de l'Université et de ses environs, en dehors du plaisir de le parcourir, je n'avais pas de projet intellectuel sérieux. Après quelques contacts avec le petit département des Classics, ma discipline, je décidai par curiosité de pousser jusqu'au département d'histoire des sciences situé aux Science Studies. Il y avait là des figures accueillantes, Joy Harvey qui nous parlait souvent de Camille Limoges (1942-), John Beatty etc., et, bien sûr, Everett Mendelsohn. Divers cours et séminaires semblaient ouverts à tous. Étrangère à ces disciplines, intimidée, avais-je le droit d'y assister ? La Sorbonne n'admettait pas qu'on transgresse les frontières. Un grand rire d'Everett fut toute sa réponse. Plusieurs semaines d'un merveilleux printemps passèrent pour notre plus grand émerveillement. Nous étions bien logés, nos jeunes enfants allaient à une petite école bilingue, les membres du Science Center se recevaient dans leurs maisons. Nous apprenions la convivialité américaine, sa facilité, sa chaleur, et sa superficialité aussi. Everett et son épouse nous recevaient avec des collègues, mais seul il parlait politique. Nous le savions très impliqué, en tant que Quaker malgré sa discrétion. Au contraire, pour nous, Français, l'affaire dramatique des otages américains de l'Ambassade de Téhéran, les tentatives tragiques de sauvetage, les hésitations de Carter, tout ce qui se déroulait à cette époque nous tenait en haleine. Or, mis à part Everett Mendelsohn, c'est à peine si nos interlocuteurs évoquaient cette histoire et, semble-t-il, situaient l'Iran.

Et puis, brusquement, ma vie changea. Comment est-ce venu ? Un jour Claire Ambroselli, une Française qui se trouvait aussi à Harvard, admiratrice de Canguilhem et de Foucault, me demanda si je voulais partager avec elle la séance de séminaire qu'elle devait faire sur l'œuvre de Michel Foucault au Science Center à la demande d'Everett Mendelsohn. À cette époque, en 1979-80, contrairement à son succès en France, Foucault n'était pas vraiment connu outre-Atlantique. Après sa *Naissance de la clinique*, paru en 1964, *Surveiller et punir* était récent (1970). Surtout, en l'absence de traduction anglaise, les anglophones avaient beaucoup de difficulté avec le style de Foucault. Donc j'acceptais sans hésiter ce défi : sans aucune qualification (Claire était médecin), transgresser ma discipline, faire passer en anglais la subtilité provocante des idées de Foucault sur le pouvoir. Mais aussi aider Claire à mettre au point son exposé sur *L'Histoire de la folie*, qui nous enthousiasmait.

Le résultat fut de changer ma vie, et je le dois donc en dernier ressort à Everett Mendelsohn. Cela se produisit à Paris, à notre retour. Quelque chose s'était délivré en moi : l'idée qu'il était possible de réaliser ce que l'on avait envie de faire. En quelques jours, les choses s'enchaînèrent, je découvris le monde des textes médicaux antiques, leur philosophie et leur richesse, qui me parlaient intimement. Je décidai de m'y lancer, pris les contacts qu'il fallait, mis un terme à une spécialité où je me sentais entravée. L'effet Harvard me donnait des ailes. Ma vie universitaire en fut changée pour mon plus grand bonheur. Si je lui avais raconté tout cela, Everett en aurait sûrement ri. À vrai dire, il allait plutôt de l'avant. Et il s'intéressait au monde.

Armelle Debru

Témoignage d'Anne Marie Moulin

Everett Mendelsohn ou ma découverte des États-Unis

C'est en 1983 que j'ai fait connaissance d'Everett Mendelsohn (1931-2023), au WissenschaftsKolleg zu Berlin, copie de l'Institute for Advanced Study de Princeton. Cette thébaïde pour chercheurs, conçue en 1981 par le Sénat comme une vitrine de Berlin-Ouest à l'international, avait choisi cette année-là l'histoire des sciences comme thème collectif et aussi décidé de rajeunir la promotion des *fellows* en associant des jeunes chercheurs. Wolf Lepenies (1941-) s'enquit auprès de Georges Canguilhem (1904-1995) qui proposa le nom de Claude Debru (1944-), mon benjamin d'une semaine. Claude ayant décliné l'invitation, c'est à moi qu'échut la chance d'une année inoubliable dans la vieille Berlin, enclose dans des murs dont rien de permettait de prévoir qu'ils tomberaient cinq ans plus tard.

Du côté des États-Unis, l'histoire des sciences était représentée principalement par Everett Mendelsohn de Harvard et Robert Cohen (1923-2017), de la Boston University. C'est à eux que je dus de m'embarquer l'année suivante pour les États-Unis avec un précieux viatique, une invitation à venir travailler comme *visiting scholar* dans les deux universités. Je me souviens d'être arrivée avec une grande naïveté touchant la culture américaine, m'imaginant mettre le pied sur le prolongement d'une Angleterre que j'avais adorée dans ma jeunesse après des séjours enchantés chez ma *penfriend* Helen (avec qui les liens perdurent aujourd'hui)… Les États-Unis ne sont pas l'Angleterre, c'était une grave erreur de ma part.

Grâce à Everett, la précieuse petite carte de *visiting scholar* m'ouvrit l'ensemble fabuleux des bibliothèques de Harvard, de la fantastique Widener, du nom d'un étudiant mort pendant la première guerre mondiale, à d'autres moins connues. Ouvertes jusque fort tard et souvent le dimanche, on pouvait y camper dans de confortables fauteuils ou même casser la croûte *in situ*. Si l'on excepte quelques rares lacunes pour les journaux français, j'ai pu achever confortablement ma thèse sur l'histoire de l'immunologie, commencée à Berlin, soutenue à Lyon en 1986.

Je découvris, en même temps, grâce à l'accueil débonnaire d'Everett, l'histoire des sciences à l'américaine à travers les séminaires qui se tenaient au Science Center, un petit cube de béton, chef d'oeuvre de l'architecture contemporaine, qui hébergeait le département d'histoire des sciences d'Everett, non loin du fameux Harvard Square, un carrefour dominé par la statue du fondateur de l'université, un certain John Harvard (1607-1638), qui n'était pas un prestigieux savant mais un riche mécène. Je découvris plus tard qu'il en allait de même partout dans le campus : de nombreux bâtiments portaient le nom de milliardaires bienfaiteurs, comme la dynastie des Forbes qui s'étaient enrichis en forçant le blocus maritime pendant la Guerre de Sécession (1861-1865).

Ce qui me frappa dans les travaux discutés dans les premiers séminaires auxquels j'assistai à Science Center était l'importance, nouvelle pour moi, du thème de l'organisation et du financement des recherches, de l'acquisition des instruments et des techniques, de la course aux brevets, des compétitions autres qu'intellectuelles. La férocité de la lutte pour les postes universitaires au quotidien me fut parallèlement révélée d'emblée par un roman policier inspiré d'un fait divers à Harvard, *Death in a tenured position*, que je traduis librement par « Meurtre pour un poste », d'Amanda Cross (1981) : mon rendu maladroit de *tenure*, terme juridique français venu du fond du Moyen Age, par « poste » ne restitue évidemment pas le prestige enviable associé au décrochage d'une position stable dans l'université américaine : c'était une découverte pour une française comme moi qui avait bénéficié très jeune par voie de concours d'un poste inamovible, ce qui suscitait autour de moi une incrédulité teintée d'envie.

L'activité du chercheur scientifique était volontiers abordée de façon prosaïque. Le chercheur était d'abord un chercheur d'or, et cette approche de la science comme une activité de démarchage et de saisie des opportunités dans un monde économique et politique turbulent, se conjuguait assez bien avec la tonalité nouvelle de la description du laboratoire scientifique. *Laboratory Life* datait de 1979 : le laboratoire de recherche élu par le français Bruno Latour (1947-2022) et l'américain Steve Woolgar (1952-) était décrit comme un lieu désenchanté où la production d'articles, de techniques et d'objets monopolisait l'attention, sans privilège accordé d'emblée aux sphères élevées de l'élucubration intellectuelle et des grands cerveaux. Les théories avortées requéraient le même intérêt que les théories régnantes, selon un principe de symétrie récusant le privilège excessif et unilatéral d'une Vérité transcendante.

J'appréciais au Science Center le passage d'un défilé de chercheurs associés comme moi, qui défrichaient l'histoire de la biologie moléculaire (Pnina Abir-Am, 1947-), ou encore l'anthropologie des sciences (Joy Harvey, 1934-). En revanche, j'avais du mal à me positionner au cœur de la vie du Centre, à trouver le filon de mon couplage de la recherche et la clinique médicales avec la philosophie et l'histoire.

C'est rétrospectivement que je comprends mieux la raison de mon inconfort de ces années 1984-86. La pratique médicale était certes aux yeux des pontes de Harvard une activité prestigieuse et rentable, et je m'attirais des questions étonnées : comment avais-je pu troquer une position financièrement enviable de médecin contre le sort d'un chercheur en sciences sociales ? Avais-je à me reprocher quelque *malpractice* ?, malentendu qui provoquait chez moi un haut-le-corps offensé. J'ignorais l'existence de l'anthropologue Paul Farmer (1959-2022) qui allait réussir l'exploit de combiner des études de médecine au Brigham Hospital et une action médicale caritative à Haïti [4], à partir de 1984 [5] : je ferais sa connaissance bien plus tard, comprenant rétrospectivement l'importance des lobbys religieux qui avaient soutenu son action dès le début.

En fait, il existait alors une grande distance entre le Science Center à Cambridge et la Faculté de médecine de Harvard à Boston, avec sa merveilleuse bibliothèque de la Countway. Les deux se trouvaient disjointes de part et d'autre de la rivière Charles, même si elles étaient reliées par une *shuttle*, une irrégulière navette entre deux mondes. Côté Cambridge, l'histoire de la médecine de Barbara Rosennkrantz (1923-2014) sur la tuberculose et plus récemment d'Allan Brandt [6] (1953-) était une histoire sociale, elle ne laissait guère de place aux péripéties des bactériologistes : dans le deuxième cas, elle révélait surtout une société puritaine crispée sur les interdits (« Mieux vaut une balle qu'une pute » affichaient les militaires pendant la première guerre mondiale) [7].

J'eus le plus grand mal à identifier un interlocuteur, quand je voulus travailler sur la réaction de fixation du complément utilisée pour le diagnostic de la syphilis en 1906 (réaction de Bordet Wassermann, dite BW). Dans les années 1930, cette réaction avait servi de pivot aux travaux épistémologiques du médecin et philosophe polonais Ludwig Fleck (1896-1961) : cette réaction d'interprétation difficile [8] avait permis à Fleck de montrer que

4 - Paul Farmer, *Aids and accusation : Haiti and the geography of blame* (Berkeley : University of California Press, 1992).
5 - John Tracy Kidder, *Mountains beyond mountains* (New York : Random House, 2003).
6 - Allan Brandt, *No magic bullet : A social history of venereal diseases in the United States since 1880* (Oxford : Oxford University Press, 1987).
7 - Anne Marie Moulin, Les États-Unis et la peur du mal vénérien, *L'Histoire*, 82 (octobre 1985), 80-84
8 - Boris Zalc, Some comments on Fleck's interpretation of the Bordet-Wassermann reaction in view of present medical knowledge, *in* Robert S. Cohen et Thomas Schnelle (dir.), *Cognition and fact : Materials on Ludwik Fleck* (Dordrecht, Boston : D. Reidel, 1986), 399-406.

l'utilité sociale de la réaction (identifier les syphilitiques) s'était accommodée d'incertitudes sur la validité intrinsèque de la sérologie [9]. Thomas Kuhn (1922-1996), l'homme du paradigme des révolutions médicales [10], physicien de formation, qui fit découvrir Fleck sur le tard [11], ne s'intéressait pas à la cuisine du laboratoire de bactériologie. En dépit de son imperfection ayant suscité de multiples modifications, le test était resté en usage « sur la base de fausses hypothèses et d'expériences non reproductibles, en dépit de changements constants dans la technique et de son absence de spécificité absolue [12] ». Quand j'abordai avec lui la question de l'objectivité insaisissable de la réaction, au regard de son acceptation sociale, il fit la moue : « Je vous avouerai que je n'ai jamais compris cette histoire de fixation du complément [13]. »

Ma spécialité en médecine, les maladies tropicales et la parasitologie, avait connu un grand essor aux États-Unis pendant la guerre du Viêt-Nam, mais l'intérêt pour les maladies coloniales avait considérablement décru, à part chez quelques vieux professeurs comme Elie Chernin (1924-1990), qui avait été un spécialiste de la bilharziose. Grande déception pour moi que ce reflux vis-à-vis d'une médecine dont l'intérêt semblait lié au sort des troupes d'occupation coloniales : j'ignorais d'ailleurs à l'époque que les Américains avaient occupé Haïti de 1915 à 1934.

À ma surprise, j'ai été très vite sollicitée à l'extérieur de l'université, précisément en raison de mon titre de médecin, par de jeunes étudiants et chercheurs qui m'assaillirent de questions, m'expliquant que leur pathologie n'intéressait personne et que l'establishment de Harvard laissait mourir les *gays* : ils me demandaient de les mettre d'urgence en relation avec les leaders français des études sur la maladie nouvelle, ils voulaient converser avec la Pitié-Salpétrière : il s'agissait bien sûr du Sida. Cer-

9 - Anne Marie Moulin, The transformations of medical truths in history, at the light of Ludwik Fleck's epistemology, *in* Rainer Egloff et Johannes Fehr (dir.), *Vérité / Widerstand / Development : At Work with / Arbeiten mit / Travailler avec Ludwik Fleck* (Zürich : Collegium Helveticum, 2011), 17-28.

10 - Thomas S. Kuhn, *The Structure of scientific revolutions* (Chicago : The University of Chicago Press, 1962).

11 - Ludwik Fleck, *Genesis and development of a scientific fact*, éd. par Thaddeus J. Trenn et Robert K. Merton, trad. par Frederick Bradley et Thaddeus J. Trenn, préface de Thomas S. Kuhn (Chicago : University of Chicago Press, 1979).

12 - Fleck, *op. cit. in* n. 11, 76.

13 - Moulin, *op. cit. in* n. 9, 20.

tains militants se comparaient aux premiers chrétiens, courant à la mort après le baiser fatal aux amis. Voilà que j'étais venue chercher la science américaine et on m'expliquait que la vraie science, celle qui soigne, était de l'autre côté de l'océan. Les étudiants manifestaient en même temps un intérêt passionné pour les travaux de Michel Foucault (mort en 1983), et de Jacques Derrida (1930-2004). Avec Santiago Ramirez (1945-1997), un merveilleux philosophe mexicain, fils d'un célèbre psychiatre, ami de François Delaporte (1921-2019), nous improvisions d'abondance sur Foucault devant un public enthousiaste.

Jusque-là, il m'avait toujours semblé possible de passer aisément d'un monde médical à un monde philosophique, ou de John Harvey et René Descartes à Louis Pasteur et aux immunologistes, et voilà que la distance s'avérait plus grande que prévu. Je faisais pourtant de grands efforts et c'est ainsi que je pris rendez-vous avec Baruj Benacerraf (1920-2011), titulaire du prix Nobel en 1980 avec Jean Dausset, mon ancien parrain au CNRS. L'entrevue fut déconcertante. Financier expérimenté jonglant entre Wall Street et son laboratoire d'immunologie, Benacerraf avait été pendant plusieurs années professeur à Harvard sans toucher de salaire. Jouant sur l'étymologie de son patronyme, il a publié ses mémoires sous le titre *Son of the angel* (de l'hébreu *seraph im*) [14]. À la fin de l'entretien, il me jaugea abruptement : « Aimez-vous les Américains ? » et devant mon embarras, affirma péremptoirement (en français) : « Je n'aime pas les Américains, ils vous pressent comme un citron, après, ils vous jettent. » J'en restai coite.

Malentendu culturel encore une fois, quand je fus sollicitée par des étudiant(e)s pour poser comme *role model*, avec ma carrière : je dus répondre à des questions sur la façon dont j'avais sauté les obstacles et affronté les harcèlements de mes supérieurs et collègues : j'étais à court d'anecdotes et surtout les obstacles n'étaient pas de cette nature et je ne les avais pas sautés, il m'était difficile d'improviser une réponse correspondant à l'attente admirative de mon auditoire.

14 - Baruj Benacerraf, *Son of the angel* (Boston, Mass. : B. Benacerraf, 1990). Idem, *From Caracas to Stockholm : A life in medical science* (Amherst, N. Y. : Prometheus Books, 1998).

Désireuse de faire le point sur l'interaction franco-américaine, avec ma collègue du CNRS Catherine Chevalley, épistémologue de la physique (1951-2022), et fille de Claude Chevalley (1909-1984), membre du groupe Bourbaki, émigré à New York pendant la deuxième guerre mondiale, nous avons organisé une soirée de discussion avec nos compatriotes travaillant dans la recherche à Boston. La conclusion fut claire : tous les biologistes, ou presque, venus travailler dans des labos prestigieux repartaient après deux ou trois ans, avec quelques bons articles dans des revues de premier choix, au cours d'un intermède décisif pour leur carrière. Certains littéraires en revanche se déclaraient dans l'ensemble plutôt déçus par la difficulté des collaborations et déconcertés par une certaine incompréhension de leurs propres travaux. Que leur manquait-il donc à Harvard ? Quel mixte de culture et de méthode manquait-il au *melting pot* universitaire ? C'est sur cette question que nous nous séparâmes, sans aller jusqu'au bout de nos perplexités.

Où la vraie vie intellectuelle se déroulait-elle donc ? Harvard avait anticipé sur la prévention actuelle du harcèlement sexuel, un *dean* (doyen) en était chargé spécifiquement, et j'avais été munie dès mon arrivée d'un numéro de téléphone rouge ; après trois mois, je demandai sans rire où m'adresser pour qu'un collègue m'offre un café causant. Par où passait donc la convivialité intellectuelle ? Peut-être, me dit-on, dans les collèges, les « maisons » à la manière britannique, auxquelles chaque enseignant était plus ou moins affilié. Un des plus prestigieux de ces collèges était le collège de femmes Radcliffe. Il organisa en 1985 un séminaire de politique comptant des femmes déjà célèbres pour leur action, dont Benazir Bhutto, future premier ministre du Pakistan, qui avait été élève d'Everett. Radcliffe College était informellement rattaché à Harvard et devait plus tard lui être pleinement intégré. À sa fondation en 1869, le président de Harvard Charles Eliot (1834-1926) avait déclaré que « le monde ignore presque tout des capacités du sexe féminin », sans se charger pour autant de combler cette regrettable lacune.

Ce n'est pas la faute d'Everett si à ces années à Harvard ont manqué la contestation et l'engagement international. Vu depuis le temple du savoir, le reste du monde paraissait à une distance intersidérale. Le *Boston globe*, le journal local, ne consacrait que peu de pages à la situation internationale. L'institut voisin d'études sur le Moyen Orient paraissait plutôt paroissial et peu friand de s'exprimer sur des sujets d'actualité. Abdelhamid Sabra (1924-2013), titulaire d'une chaire de la science arabe, spécialiste de l'optique médiévale, restait discret sur les savoirs anciens de l'ophtalmologie. Plusieurs anthropologues de l'université comme Byron Good (1944-) avaient perdu leur terrain iranien et étaient en attente d'un autre. Beaucoup d'étudiants de Harvard, pourtant fortunés, n'avaient jamais franchi une frontière. L'institut d'études européennes, fondé en 1969 et dirigé par Stanley Hoffman (1928-2015) offrait, il est vrai, chaque semaine, un repas avec des débats intéressants. À cette occasion, des malentendus culturels pouvaient survenir : deux universitaires français invités à un *luncheon seminar*, une causerie où on apporte son sandwich, avaient mangé de bon appétit en conversant avec leurs voisins, pour découvrir au café que le temps de leur intervention était terminé.

D'autres malentendus encore pouvaient survenir. Le Pentagone développait un projet d'histoire des sciences pour une monumentale recherche sur les développements de la médecine tropicale américaine pendant la guerre du Viêt Nam. J'envoyais mon dossier et reçus une proposition. Triomphe de courte durée ! Everett me félicita chaleureusement mais s'inquiéta d'un détail : je m'étais présentée comme *a French-born researcher* : faute de passeport, l'embauche tourna court.

À Harvard, je suivais avec intérêt le mouvement engagé de réforme des études médicales, reposant sur le principe qu'un médecin doit être un *lifelong learner*, c'est-à dire se ressourcer inlassablement tout au long de son exercice professionnel. Chaque étudiant devait être « coaché » par deux ou trois enseignants, des conditions de luxe que je comparais avec envie avec la réalité française.

Pour finir sur ma quête du lien entre philosophie, histoire et médecine aux Ètats-Unis, je crois que je comprends mieux maintenant mon erreur : illusionnée par les grandes déclarations d'allégeance à Georges Canguilhem autour de moi, je n'avais pas sérieusement cherché à découvrir ce qu'elles impliquaient ou plutôt auraient pu impliquer. Je cherchais à retrouver le dialogue entre philosophie et histoire au sein des pratiques médicales, elles-mêmes fort diverses au sein des différentes sociétés. Même en présence d'avancées spectaculaires des connaissances, comme les lectures moléculaires du génome et des organites cellulaires, le lien historique selon moi n'était pas rompu, et parlant de médecine, il me paraissait impossible de ne pas impliquer en même temps la science biomédicale et l'anthropologie ou l'étude du contexte socio-culturel si important pour le vécu de la maladie et l'expression des symptômes. C'est ainsi que, par exemple, la découverte du rôle étiologique des bactéries et des virus n'étaye pas nécessairement une théorie ontologique de la maladie mais peut très bien s'associer à une théorie physiologique, la présence d'un germe dans l'organisme n'équivalant pas nécessairement à une infection. La parasitologie, ma discipline d'origine, m'avait fait fréquenter des savants qui avaient ingurgité ou appliqué sur leur peau toutes sortes de petites bêtes, assurés que leur organisme résisterait à l'invasion, ce qui d'ailleurs ne fut pas toujours le cas.

La classification des maladies suivant le germe ou tout autre critère permettant une nosologie n'empêche pas d'être attentif aux particularités d'une maladie chez un individu donné. La nosologie est un outil heuristique et pédagogique fort utile, mais ne fait pas obstacle à l'appréhension fine des désordres dont se plaint le (la) malade. Le carambolage des catégories de normal et de pathologique appelait bien un approfondisssement à la fois philosophique et historique, or il n'était pas pris au sérieux. L'insistance sur le développement de la rationalité en termes de révolution et de redémarrages tendait à effacer la considération de l'évolution historique des connaissances, quand Canguilhem se refusait à une véritable discontinuité [15].

La médecine américaine ne m'offrait pas les ressources que la biologie américaine offrait à l'époque à mes amis Claude Debru et Jean Gayon. J'ai finalement remis à plus tard une véritable exégèse de la lecture américaine de Canguilhem, au-delà du *lip service* qui lui était rendu à Harvard avec déférence pour la tradition de la philosophie française. Nous ne disposons pas, hélas, du texte français de la communication d'Everett Mendelsohn en-

15 - Anne Marie Moulin, Medical ethics in France : The latest great political debate, *Theoretical medicine*, 9 (1988), 271-285.

voyée au congrès de 1992 à Paris sur *Georges Canguilhem : Philosophe, historien des sciences*, auquel, comme on sait, Georges Canguilhem se refusa d'assister, considérant qu'il n'avait rien fait d'autre dans sa vie que d'exercer son métier [16]. J'avais revu Everett au jury d'HDR de Jean Gayon à Dijon, en 1989, lors de son dernier voyage à Paris : nous sommes revenus par le même train.

En 1986, à Boston, j'étais partie au Massachusetts Institute of Technology, au MIT. Hasard ou structure, j'y ai trouvé plus de facilités interdisciplinaires. J'ai pu étudier avec les immunologistes Malcolm Gefter et Susumu Tonegawa (1939-), avant son Prix Nobel en 1987, et surtout, j'ai fait connaissance de la philosophe Evelyn Fox-Keller (1936-2023), et ce fut un émerveillement : le rire d'Evelyn, sa rage de vivre et de tout découvrir, depuis son entrée en physique avec Leo Szilard (1898-1964), sa passion pour les discussions philosophiques. Avec elle, je recommençai l'apprentissage du monde américain…

Anne Marie Moulin

16 - Collège international de philosophie (dir.), *Georges Canguilhem : Philosophe, historien des sciences*, actes d'un colloque au Palais de la découverte à Paris du 6 au 8 décembre 1990 (Paris : Albin Michel, 1992).

ANALYSES D'OUVRAGES

Liste des analyses d'ouvrages publiées dans ce numéro

Richard T. W. ARTHUR, David RABOUIN, *Leibniz on the foundations of the differential calculus* (Birkhäuser, 2025), 168 × 240 mm, XVI-288 p., bibliogr., index nominum, index rerum, table, coll. « Frontiers in the history of science ».

Cet ouvrage comporte deux parties : un essai interprétatif rédigé par les deux auteurs et une sélection des textes de Leibniz relatifs au fondements du calcul différentiel, traduits en anglais par leurs soins. La principale invention leibnizienne en mathématiques, l'algorithme infinitésimal, a donné précédemment lieu à des études d'histoire des sciences dont on reconnaît volontiers les mérites, mais aucune de celles-ci ne s'appuyait sur un inventaire aussi complet et sur un examen aussi fouillé des textes édités et des manuscrits qui avaient exposé les conditions d'émergence, la formulation et les arguments fondateurs et justificatifs du calcul, ni ne prenait si justement en compte les contextes particuliers et généraux dans lesquels avaient été rédigées les diverses pièces concernées.

Découvrant le nouveau calcul, les contemporains de Leibniz s'étaient interrogés sur la réalité, l'existence pour l'esprit qui se les représente, des quantités infinitésimales ou infinies auxquelles ce calcul se référait symboliquement et articulait ses opérations. Les commentateurs ont poursuivi jusqu'à nos jours cette interrogation, tentant de démêler les propos de Leibniz sur la question, qui, plus ou moins elliptiques et allusifs, semblaient parfois équivoques, voire tendaient à évacuer le problème en suggérant que l'on pourrait recourir mathématiquement à de telles quantités, sans s'interroger sur leur statut métaphysique. Ainsi Leibniz déclare-t-il à Pierre Bayle : « Les mathématiciens cependant n'ont point besoin du tout des discussions métaphysiques, ni de s'embarrasser de l'existence réelle des points, des indivisibles, des infiniment petits, et des infinis à la rigueur [1]. » Or ce n'était là qu'une façon pour Leibniz de s'abstenir de récuser une thèse interprétative de ses disciples, tels Johann Bernoulli et Guillaume de l'Hôpital, tout en confortant leur adhésion à la seule méthode qu'incarne le calcul. Par-delà de telles déclarations relativistes, Richard Arthur et David Rabouin établissent la cohérence et la pleine intelligibilité de la thèse que le philosophe a soutenue de façon continue dans la foulée de ses travaux réalisés à Paris et aboutissant au *De quadratura arithmetica* (1675-1676). La remarquable édition qu'Eberhard Knobloch en a donnée [2], nous a proprement révélé cette pièce maîtresse, sur laquelle, alors même qu'elle était restée inédite, se sont appuyés les prises de position et les arguments ultérieurs de Leibniz en faveur de son calcul. Les auteurs vont plus loin, car ils montrent que cette thèse leibnizienne, loin de se réduire à une simple justification d'utilité dans l'aménagement du discours mathématique, se fonde sur le recours à des principes incarnant rigoureusement la seule raison géométrique appliquée à la composition du continu.

1 - *Die Philosophischen Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz*, éd. par Carl Immanuel Gerhardt, 7 vol. (Berlin : Weidmann, 1875-1899), vol. IV, 569.

2 - Gottfried Wilhelm Leibniz, *De quadratura arithmetica circuli, ellipseos et hyperbolæ cujus corollarium est trigonometria sine tabulis*, éd. E. Knobloch (Göttingen : Vandenhoeck & Ruprecht, 1993).

Ainsi est-il clairement établi, dès la fin du séjour à Paris, en 1676, que l'existence de quelque chose d'infiniment petit et qui ne serait pas en même temps indivisible, constituerait une aporie insurmontable : d'où l'inférence que le concept d'une infinitésimale existante impliquerait contradiction. À la même époque, Leibniz en vient à attribuer le statut de « fictions » à de telles quantités inassignables, néanmoins sujettes à entrer dans l'interprétation rationnelle de rapports qui les impliquent et réfèrent pour leur part à des entités estimées réelles. Les auteurs montrent que le statut d'entité fictive ou imaginaire était de commun usage parmi les mathématiciens de l'époque en raison de son utilité pour la résolution de problèmes. Ces savants pouvaient ainsi s'en servir à l'instar des nombres négatifs dans des équations dont la solution aboutissait à des termes reconnus non contradictoirement existants. Indiscutablement, Leibniz adopte ce type de stratégie dans la résolution de séries infinies rapportées à leurs limites, dans le même temps où il reconnaît la nature contradictoire de l'infini numérique considéré comme un tout. C'est dans le cadre de cette pratique que Leibniz adopte un principe qui explicite le statut de la présumée quantité infinitésimale, par exclusion de tout rapport direct à l'existence. Les auteurs l'identifient comme « principe de différence inassignable » et l'énoncent suivant la formule : « Si une différence entre deux quantités peut être supposée moindre que toute différence assignable, elle peut être tenue pour nulle » (10 et passim).

Dans le chapitre consacré au *De quadratura arithmetica*, les auteurs s'intéressent à la mise en œuvre de ce principe. Il fonde une méthode directe de calcul de l'aire sous la courbe au moyen de « fictions » : celle-ci est appelée à supplanter tout modèle classique basé sur des indivisibles et impliquant l'exhaustion méthodique de figures inscrites et circonscrites jouxtant la courbe. L'analyse montre que cette méthode, qui, dans le texte initial, évoquait indirectement le recours aux infinitésimales et l'usage du principe de continuité dans leur détermination, se trouve ré-explicitée dans le *Compendium* que Leibniz rédige en vue de publication en 1690 et dans le résumé envoyé à Rudolph Christian von Bodenhausen pour être annexé à la *Dynamica de potentia* dont celui-ci prépare alors l'édition.

Lorsqu'ils se tournent vers l'exposé canonique du calcul, la *Nova methodus pro maximis et minimis* (1684), qu'ils associent notamment à un passage significatif du *Tentamen de motuum cœlestium causis* (1689), les auteurs notent que Leibniz, au lieu de se référer directement à la notion de quantité infinitésimale comme fiction, développe un système de comparaison où les différentielles se rapportent à des lignes de longueur arbitraire finie, tenues pour si réduites que l'erreur dans le calcul comparatif s'avère moindre que toute erreur assignable. Cela donne lieu, dans le *Tentamen*, à l'énoncé de « lemmes » spécifiant les conditions d'« incomparabilité » qui prévalent aux divers degrés de différenciation : les incomparables représentent non des grandeurs fixes, mais des variables rapportées aux grandeurs qu'elles différencient, que celles-ci caractérisent des entités mathématiques ou qu'elles signifient des propriétés physiques telles que mathématiquement représentables. En tant qu'incomparable à quelque unité que ce soit, l'infinitésimale ne saurait se qualifier ni comme quantité, ni comme nombre, ce qui ne la prive pas de signification géométrique comme quantité au sens large, en vertu d'un processus fictionnel relançant indéfiniment l'atteinte d'un terme à la décomposition quantitative. Comme les auteurs l'expliquent : « Même si les infinitésimales ne sont pas des quantités, il est toutefois possible de les traiter *comme si* elles étaient des quantités dans certaines circonstances bien définies. C'est que l'on peut, *par fiction*, les traiter comme si elles étaient d'infiniment petites parties d'une quantité continue, tandis qu'on traite celle-ci comme si elle était une "somme" d'une infinie multitude de telles parties » (117), et cela en vertu du principe de différence inassignable, comme Leibniz l'explique dans le *Specimen geometriæ luciferæ* : « La méthode des indivisibles et des infinis, ou bien plutôt de l'infiniment petit et de l'infiniment grand, ou bien des infinitésimales et des infinituples, est de remarquable usage. Car elle inclut une certaine résolution pour ainsi dire en une commune mesure (*quasi in communem mensuram*), quoique ce soit en une mesure plus petite que toute quantité donnée, c'est-à-dire en une manière par laquelle l'on montre qu'en négligeant ce qui constitue une erreur moindre que toute erreur donnée, et donc nulle, des deux choses qu'il faut comparer, l'une est transformable en l'autre par transposition [3]. »

La dernière partie de l'essai introductif et des textes qui s'y réfèrent concerne principalement les échanges et controverses survenus à compter de la décennie 1690 et portant sur la stratégie consistant à justifier le calcul sans postuler l'existence de quantités infinitésimales ou infinies. Dans cette perspective, une attention particulière est accordée à la conception de l'infini « syncatégorématique », développée dans le lettre à Pierre de Varignon de 1702. Par rapport à l'infini catégorématique qui signifierait la possession effective d'une quantité infinie, l'infini syncatégorématique se rapporte à l'idée d'une infinité qui résiderait dans une progression infinie sans terme quantitatif assignable. Les auteurs font notamment valoir que le concept de cet infini ne déroge aucunement à la conception non ontologique de l'infinitésimale ; ils contestent donc qu'on puisse le rapprocher de toute notion d'infini potentiel. Ils s'opposent sur ce point aux interprétations que l'on peut inférer de certains écrits de Fabio Bosinelli, d'Herbert Breger ou de Paolo Mancosu.

Une éclairante analyse nous est également fournie de la *Justification du calcul des infinitésimales par celui de l'algèbre ordinaire*, que Leibniz avait aussi fait parvenir à Varignon en 1702 pour fin de publication (142-148). Ce texte visait à argumenter auprès de cartésiens hostiles aux méthodes de réduction héritées de la géométrie archimédienne. Il suggère que la transition aux rapports infinitésimaux, se situant en prolongement de l'analyse algébrique, peut être requise pour garantir la généralité des inférences réalisées, comme le soulignait déjà la *Méthode de l'universalité* (1674). Cette stratégie équivaut à recourir au principe de continuité en physique pour garantir la constance des lois du choc dans la transition d'un cas à l'autre, le repos par exemple apparaissant comme un mouvement évanescent, l'égalité comme une inégalité à la limite. Toutefois, l'analogie ainsi déployée ne saurait introduire, en

3 - *Leibnizens mathematische Schriften*, éd. par Carl Immanuel Gerhardt, 7 vol. (Londres, Berlin puis Halle : D. Nutt, A. Asher puis H. W. Schmidt, 1850-1863), vol. VII, 273.

vertu d’une « stratégie sémantique », la moindre raison de tenir l’infinitésimale non pour une simple fiction, mais pour une quantité existante, comme, par exemple, Douglas Jesseph a pu l’intimer.

Qu’il nous soit permis de faire ici remarquer que la loi de continuité peut s’appliquer en mathématiques comme en physique, ainsi que le déclare Leibniz dans la *Lettre sur un principe général* (1687) : « [Ce principe] a son origine de l’infini, il est absolument nécessaire dans la Géométrie, mais il réussit encore en physique parce que la souveraine sagesse, qui est la source de toutes choses, agit en parfait géomètre, et suivant une harmonie à laquelle rien ne se peut ajouter [4]. » Toutefois, son application – car il est nécessaire en géométrie – s’y trouve soumise au principe de contradiction, et par suite au principe de différence inassignable, alors qu’en physique son application, tout en étant conforme à l’ordre géométrique, est soumise en outre à un réquisit architectonique fondamental qui renvoie à une raison suffisante d’harmonie prévalant dans l’ordre des existants. C’est là une raison additionnelle d’agréer avec Richard Arthur et David Rabouin, lorsqu’ils se refusent à attribuer à Leibniz mathématicien une « stratégie sémantique qui reviendrait à accepter un modèle dans lequel les infinitésimales interviendraient comme d’authentiques entités » (146). Ils ont montré avec rigueur que Leibniz, dès l’invention première de son calcul, s’est attaché à dissocier la géométrie de l’infini de toute ontologie de l’infini.

À notre avis, nul ne pourra à l’avenir se dispenser de se référer à cet ouvrage, guide de lecture et d’interprétation de l’ensemble des écrits, aujourd’hui accessibles, par lesquels Leibniz s’est employé à fonder et à justifier son calcul infinitésimal.

François Duchesneau

Jean-François Bert, Jérôme Lamy (dir.), *Les Cartes à jouer du savoir : Détournements savants au XVIII^e^ siècle* (Bâle : Schwabe Verlag, 2023), 220 × 153 mm, 246 p., 113 ill. coul., 1 ill. n. et bl., réf. bibliogr., tables, coll. « Heuristiques ».

L’histoire matérielle et anthropologique des savoirs a récemment participé à mettre en avant l’importance de prendre en compte certaines pratiques oubliées ou négligées – et notamment de décentrer notre attention pour repenser ce qui fait archive en histoire des sciences. Le livre *Les Cartes à jouer du savoir : Détournements savants au XVIII^e^ siècle*, sous la direction de Jean-François Bert et Jérôme Lamy, s’inscrit dans le sillage de travaux récents, notamment les leurs. On y explore les usages d’un matériel particulier : les cartes à jouer détournées par les savants dans leur pratique quotidienne. L’ouvrage s’intéresse en particulier à la gestion de l’information dans le milieu savant – au sens large – de l’Europe du XVIII^e^ siècle et il poursuit, dans une direction nouvelle, les recherches sur ces questions

4 - Leibniz, *op. cit. in* n. 1, vol. III, 52.

déjà largement explorées en histoire des sciences (bien que sur des matériaux plus classiques), notamment par Ann Blair qui signe la postface de l'ouvrage.

La question de la gestion de l'information comme pratique savante, d'écriture et scientifique à proprement parler est donc au centre des contributions : face à leur prolifération comment sélectionner, organiser, trier, classer les informations ? Quelle économie de la mémoire, de la pensée dans les papiers, dans la prise de notes ? Parmi les réponses apportées à ces problèmes émergents se trouve la fiche. Celle-ci se distingue par sa grande maniabilité et sa grande plasticité. Elle est « mobile, remplaçable et surtout déplaçable » (14), et se libère de l'unité matérielle parfois contraignante du cahier/carnet. Et parmi les différents supports de ces fiches se trouvent les cartes à jouer, objet banal détourné de sa fonction d'origine pour fournir un support d'écriture par le réemploi des jeux incomplets ou abîmés.

Gwenael Beuchet (attaché de conservation du patrimoine au Musée français de la Carte à jouer d'Issy-les-Moulineaux) suggère que « le nombre incroyablement élevé de ces cartes détournées nous disent qu'elles ont peut-être quelque chose de singulier à raconter qui peut concerner aussi l'histoire de la carte à jouer [1] » (26). Son chapitre, premier de l'ouvrage, prend la question à rebours – mais c'est un complément heureux – des autres auteur-rices, en ce qu'il se place du point de vue de l'histoire des cartes à jouer, plutôt que de celui de l'histoire des savoirs. Beuchet souligne en particulier que l'usage détourné des cartes à jouer a souvent été négligé par les conservateur-rices comme par les chercheur-ses : l'intérêt pour ces documents *en tant* qu'archives n'est que récent, et les inventaires notamment ne reflètent pas toujours la richesse des détournements des cartes à jouer.

Le reste de l'ouvrage illustre ce détournement d'une envergure considérable et peut-être, sous certains aspects, relativement inattendue. Le livre rejoint alors l'intérêt récent de l'histoire des sciences pour la fabrication des savoirs, notamment dans les archives : intérêt pour les traces du travail préparatoire invisible, largement laissé de côté par les études historiques jusqu'à récemment. Cet aspect est notamment souligné la codicologue Claire Bustarret, qui explore les différentes pratiques d'écriture – ordinaire, scientifique, lettrée – sur cartes à jouer dans un chapitre très ample [2], et y note que « nombreux sont les cas d'emplois ponctuels de cartes à jouer comme fiches de travail ou "béquets" insérés dans des brouillons scientifiques qui ont échappé à l'attention des historiens de l'écrit » (76).

L'un des cas les plus impressionnants est celui de Georges Louis Le Sage [3], décrit par Jean-François Bert, qui avait déjà publié en 2018 un ouvrage sur cet

1 - « Les cartes à jouer à l'époque moderne, un objet paradoxal », 27-56.

2 - « Écrits informels sur carte à jouer au XVIII^e^ siècle », 57-86.

3 - « Les cartes à jouer de Le Sage : Ou comment faire vivre la mémoire, la curiosité et l'imagination scientifique », 87-106.

auteur[4]. On y découvre un usage scientifique profondément personnel des cartes à jouer, que Le Sage utilise dans l'espoir de pallier ses problèmes de mémoire, amenant à une réflexion intéressante sur la prise de note dans l'activité de ce scientifique – de fait, dans un contexte particulier. Les cartes sont un support matériel et une extension de sa mémoire, une « " béquille " mnémotechnique » (96). Bert souligne ainsi que si « Le Sage voulait trouver un artifice pour lutter contre son manque de mémoire, faciliter ses découvertes, faire avancer la science de son temps, et enfin être reconnu par ses pairs comme un génie à l'étal de Newton », son obsession pour cette sorte d'hyper-document qu'il construit avec ses fiches l'amène à « composer-décomposer-recomposer sans cesse dans son fichier de multiples différentes possibilités de combinaison offertes par les cartes. Pris dans cette rationalisation sans fin, constamment à la recherche d'ordre et de hiérarchie, Le Sage a fait perdre à son dispositif toute véritable capacité heuristique » (104).

Les articles de Patrick Fournier (« Autour de deux cartes à jouer. Ordonnances médicales et médecine des pauvres en Auvergne au XVIIIe siècle », 123-138), Isabelle Charmantier et Staffan Müller-Wille (« La carte à jouer, support de connaissance des naturalistes », 139-154) et Manon Migot (« La singularité d'une collection minéralogique aux XVIIIe et XIXe siècles », 154-186) illustrent les modalités d'utilisation des cartes dans différentes pratiques scientifiques.

Le premier, qui s'intéresse au cas de la médecine, montre le rôle des cartes comme permettant le fonctionnement d'une « véritable administration de la médecine » (136). Plutôt qu'une fiche, ici, la carte à jouer est un « billet », un « choix opportuniste » utilisé par les médecins pour poursuivre, comme ils peuvent, un certain « idéal de protection des populations » dans les milieux pauvres (*ibid.*).

L'article de Charmantier et Müller-Wille montre que la matérialité même des cartes à jouer en a fait un support idéal pour ordonner et classifier l'information naturaliste en Europe au XVIIIe siècle. Dans ces usages, la carte à jouer peut être une fiche, bien entendu, mais aussi cataloguer les bibliothèques et la nature elle-même, les cartes servant alors tant pour la prise de notes que comme support d'herbier (pour les lichens, par exemple).

Dans le chapitre de Migot, qui s'intéresse au fonds minéralogique du naturaliste Philippe Picot de Lapeyrousse, les cartes sont détournées – recyclées, même – pour servir d'étiquettes d'inventaire, et pour construire des boîtes de conservation (un usage également souligné dans le chapitre de Charmantier et Müller-Wille). Il ne faut bien sûr pas sous-estimer, ici, la quantité d'informations que contiennent ces étiquettes pour documenter et classer la collection de minéraux : la carte à jouer « devient l'outil scientifique pour la

4 - Jean-François Bert, *Comment pense un savant ? Un physicien des Lumières et ses cartes à jouer* (Paris : Anamosa, 2018). On pourra en retrouver une recension rédigée par Marie-Laure Massot et Arianna Sforzini dans la *Revue d'histoire des sciences*, 72 (2019), 178-179.

conservation de l'information et la transmission du savoir, ainsi qu'un atout précieux pour l'exposition d'une collection » (181).

Les Cartes à jouer du savoir, dont on soulignera qu'il est magnifiquement illustré, tire donc son intérêt de la porte ouverte sur des pratiques d'écriture scientifique largement négligées, voire oubliées. L'ouvrage se rapproche, à certains endroits, de questions de génétique des textes, un aspect qu'il serait intéressant de croiser avec l'histoire matérielle et anthropologique proposée ici.

Emmylou Haffner

Jean-Luc Chappey, *Pasteur et les antivax* (Marseille : Agone, 2025), postface d'Anne-Marie Moulin, édition établie par Thierry Discepolo, 140 × 210 mm, 300 p., réf. bibliogr., index, table, coll. « L'Épreuve des faits ».

Les nombreuses biographies de Louis Pasteur (1822-1895) sont autant de preuves de la place proéminente occupée par ce célèbre scientifique dans la culture française. Il n'en est de meilleure preuve que Louis Pasteur est également le nom le plus souvent donné aux rues en France après celui de Charles de Gaulle. Le livre de Jean-Luc Chappey se distingue des autres biographies par l'intérêt qu'il porte à l'opposition faite à Pasteur et aux pastoriens en France. En utilisant le terme « antivax » dans son titre Chappey veut évidemment évoquer les mouvements contemporains qui condamnent la vaccination, et, en particulier, les opposants aux vaccins messager-RNA qui ont fait beaucoup de bruit pendant l'épidémie récente. Il faut dire que le lien tissé entre le mouvement contemporain des « antivax » et l'opposition à Pasteur à la fin du dix-neuvième siècle est ténu. Néanmoins, cette approche donne l'occasion à Chappey de présenter les nombreuses prises de position contre Pasteur et ses compagnons de route souvent ignorées dans les biographies de Pasteur ou d'autres histoires de cette période. La question qui préoccupe Chappey est celle de la place centrale de Pasteur dans la culture française, et la réponse, comme on peut l'attendre d'un historien, est principalement politique. Une telle orientation politique rapproche ce livre de celui de Bruno Latour sur la « pasteurisation » de la France [1], mais Chappey propose ici une histoire politique plus fine de cette période.

L'ouvrage commence par une exploration des mouvements contre la vaccination, c'est-à-dire l'utilisation de *la vaccine* (une maladie des vaches) pour prévenir la petite vérole. Pasteur fut un grand admirateur d'Edward Jenner, le découvreur de la vaccination, et il voyait dans la vaccine une forme moins virulente de la petite variole, ce qui pouvait expliquer son action protectrice. Il n'en reste pas moins que lorsque Pasteur est finalement arrivé à la « vaccination » des êtres humains contre la rage en 1865, on est très loin du principe et de la substance de la vaccine. Même si le lien est ténu entre les critiques de la vaccination et les critiques de Pasteur, cette approche permet à Chappey à publier le fruit d'un travail impressionnant sur les publications grand public,

1 - Bruno Latour, *Pasteur : Guerre et paix des microbes* (Paris : Découverte, 2012).

notamment les journaux, de l'époque. Il montre ainsi que des groupes et surtout quelques individus fortement opposés à Pasteur visaient son appât de gain et celui de ses disciples ainsi que l'expérimentation animale, plutôt que l'approche scientifique (biomédicale) déployée par les pastoriens. Chappey souligne les fortes connotations sinon orientations politiques des arguments contre Pasteur qui a pu profiter de la largesse de l'empereur Louis-Napoléon avant 1870.

L'absence d'indicateurs du poids relatif des puissances en présence reste un problème dans l'analyse de Chappey. Pour des raisons évidentes les réunions et textes anti-pastoriens sont mis en avant, mais la lecture ne donne pas idée de l'importance des communautés mobilisées contre Pasteur, ou en sa faveur. Il est, par conséquent, impossible d'évaluer le pouvoir de nuisance des anti-Pasteurien.ne.s. Ceci dit, l'auteur fait mention d'un rapport de police qui minore l'importance de ce mouvement contre Pasteur (103).

Pour le bicentenaire de la naissance de Pasteur, Michel Morange a publié une biographie avec une orientation scientifique qui va de la cristallographie jusqu'aux recherches sur le traitement contre la rage [2]. Néanmoins, Morange a dépeint les moments importants de la vie de Pasteur depuis sa naissance en 1822 à Dole jusqu'à sa mort en 1895 à Marnes la Coquette. Pour le centenaire de sa mort, Gerald Geison a publié de loin la meilleure analyse de la science de Pasteur [3]. Dans l'ouvrage présent, Jean-Luc Chappey élabore son récit autour du thème annoncé dans le titre « Pasteur et les antivax » sans beaucoup d'éléments biographiques. Si le lecteur ne saurait y chercher beaucoup d'informations sur la vie de Pasteur, à l'inverse il y trouverait beaucoup sur le contexte politique, notamment sur la fondation et le fonctionnement de la troisième république, de la guerre Franco-Prussienne de 1870 jusqu'à la fin du siècle.

Ce livre de Jean-Luc Chappey est très bien écrit, même si quelques critiques formelles demeurent. L'ouvrage qui dispose d'un index très complet, fonctionne avec un double système de notes, des notes de bas de page plutôt destinées aux informations complémentaires et des notes de fin pour les références bibliographiques. Même si on s'habitue à ce système, les références se trouvent éparpillées dans les notes (de fin), et une bibliographie donnerait une vue d'ensemble des sources. Nous pouvons également regretter que l'illustration de la couverture soit mal-identifiée. Il s'agit d'une gravure basée sur la toile peinte par Lucien Laurent-Gsell en 1886, titrée *La vaccine de la rage au Laboratoire de Pasteur* qui se trouve aujourd'hui à l'Institut de Bactériologie de Strasbourg.

Ce livre de Jean-Luc Chappey apporte un complément utile aux autres biographies de Pasteur, en resituant la dernière partie de sa vie dans le contexte politique si particulier que fut la troisième république. Au bout du compte, Chappey trouve dans les besoins politiques de la France à la fin du siècle,

2 - Michel Morange, *Pasteur* (Paris : Gallimard, 2022).
3 - Gerald Geison, *The Private science of Louis Pasteur* (Princeton : Princeton University Press, 1995).

la réponse à la question de la place de Pasteur dans l'imagination nationale, mais pour comprendre l'argument dans son intégralité, je vous renvoie à la lecture de *Pasteur et les antivax*.

Jonathan Simon

Béatrice Delaurenti, Nicolas Weill-Parot (dir.), *L'Action à distance : Au Moyen Âge et au-delà* (éditions Jérôme Millon, 2024), 160 × 240 mm, 166 p., bibliogr., table.

Au chapitre 2 du livre VII de la *Physique*, Aristote pose comme principe que ce qui est mû doit être en contact avec ce qui le meut, et cela tout au long du mouvement. L'action à distance est donc exclue, et cela vaut aussi bien pour le déplacement que pour l'accroissement ou l'altération. Comment alors expliquer, par exemple, l'attraction magnétique ? C'est à cette question et à d'autres du même type que vont s'atteler les lecteurs et commentateurs d'Aristote dans l'Antiquité et au Moyen Âge. Les différentes stratégies adoptées pour expliquer l'attraction magnétique ont été étudiées en détails par Nicolas Weill-Parot dans la deuxième partie de son ouvrage, *Points aveugles de la nature*, paru en 2013 aux Belles Lettres. Dans l'ouvrage collectif qu'il codirige avec Béatrice Delaurenti, d'autres phénomènes sont étudiés : la paralysie de la main du pêcheur dont le trident ou le filet est en contact avec un poisson torpille ; le réchauffement de la région sublunaire par le Soleil ; la vue d'un objet distant ; le mauvais œil ou le pouvoir malfaisant du regard de certaines personnes ou de certains animaux.

L'exemple du poisson torpille est étudié par Valérie Cordonnier, qui examine les différentes théories développées depuis Aristote jusqu'à Galien, en passant par Théophraste, Héron d'Alexandrie, Calcidius, Plutarque et Pline l'Ancien. Elle propose alors l'expression d'« action médiatisée » pour rendre compte du rôle joué par le corps intermédiaire, le trident ou le filet dans le cas de l'action du poisson torpille, mais ce peut être aussi l'air dans le cas de l'attraction d'un morceau de fer par un aimant ou de la propagation du rayon visuel, corps intermédiaire qui peut, soit ne servir qu'à mettre en contact les deux choses à distance, soit véhiculer l'action de ce qui meut à ce qui est mu. Dans ce second cas, la question est alors de savoir si le corps intermédiaire est lui-même affecté et comment, ou non.

Aurora Panzica s'intéresse quant à elle aux explications médiévales de la transmission de la chaleur du Soleil au monde des corruptibles, situé sous l'orbe de la lune. Pour Aristote, le frottement engendré par le mouvement du Soleil produit de la chaleur qui est transmise jusqu'à la région sublunaire, sans que les sphères célestes qui se trouvent entre le Soleil et cette région soient elles-mêmes échauffées, car ces sphères sont composées d'éther, incorruptible (un échauffement engendre nécessairement une corruption). La difficulté est alors d'expliquer comment cette transmission est possible alors même que les sphères intermédiaires ne sont pas affectées. Les commentateurs d'Aristote vont tenter de résoudre la difficulté, en particulier Simplicius, source des discussions médiévales, qui explique l'échauffement non par le mouvement du Soleil, mais par la lumière, les rayons solaires traversant les orbes célestes et se réfléchissant à la surface de la terre. En étudiant les théories proposées par Albert le Grand, Thomas d'Aquin, Pierre d'Auvergne, Raoul le Breton, Thémon Juif, Jean Buridan, Albert de Saxe, Robert Grosseteste, Roger Bacon, Guillaume d'Ockham, Duns Scot et Nicole Oresme, Aurora Panzica dégage trois explications, qui se font concurrence : 1) l'intermédiaire n'est nullement affecté (position très rarement soutenue); 2) l'intermédiaire est affecté par l'action qu'il véhicule comme le feu qui échauffe l'air entre lui et la brindille qu'il enflamme; 3) l'intermédiaire n'est pas affecté par l'action qu'il transmet mais peut l'être par autre chose, comme les sphères célestes ne sont pas affectées par la chaleur du Soleil, mais bien par la lumière des rayons solaires (c'est la position dominante).

La question de la vision est examinée par Dominique Demange. Deux explications sont présentes au Moyen Age pour rendre compte de la vision : 1) un objet est vu car il est touché par un rayon issu de l'œil (c'est ainsi que le présente Augustin par exemple, qui explique que le phènomène est instantané, quelle que soit la distance à laquelle se trouve l'objet; cette théorie domine au XIIIe siècle, période sur laquelle porte l'article); 2) soit l'objet lui-même diffuse un rayon qui atteint l'œil (c'est la théorie proposée par Ibn al-Haytham ou Alhacen, transmise au monde latin dans le *De aspectibus*). Certains des penseurs médiévaux vont ajouter à ce deuxième modèle la théorie de la multiplication des *species*, formes visuelles semblables à l'objet visible, qui se propagent jusqu'à l'œil où elles s'impriment pour provoquer une perception. Dominique Demange montre comment ces différents modèles ont fourni une mosaïque d'explications variées. Il analyse les solutions proposées par Alhazen, Albert le Grand, al-Kindi, Robert Grosseteste, Roger Bacon, Pierre de Jean Olivi et Jean Peckham.

Dernier phènomène de ce qui peut apparaître comme une action à distance, la fascination, soit l'action malfaisante exercée par certaines personnes ou animaux au travers du regard. Pour étudier cet exemple, Béatrice Delaurenti a réuni de nombreux textes des XIIIe et XIVe siècles. Elle montre comment leurs auteurs, qui refusent l'idée d'une action de l'âme à distance, en viennent à expliquer la fascination comme un phénomène physique nécessitant le contact. Ils comparent alors la fascination à la contagion : les émanations néfastes issues du corps du facinateur sont tranmises à la victime avec l'air comme médiateur, comme dans le cas d'une maladie contagieuse.

Ainsi, dans tous ces exemples, le principe fondamental d'Aristote d'un contact entre le moteur et ce qui est mu ou l'agent et le patient a été préservé dans les différentes explications données à ce qui pouvait apparaître à première vue comme des actions à distances, en précisant le rôle joué par le ou les corps intermédiaires, qu'ils soient eux-mêmes affectés ou non.

Le volume se termine par un article de physique très contemporaine et c'est une des bonnes surprises de ce volume. En guise d'épilogue, Eric Picholle, spécialiste de la physique quantique, retrace l'histoire des débats sur l'action à distance de Newton à nos jours. Il le fait de manière très didactique, même si le sujet est ardu, montrant notamment comment la physique la plus contemporaine interroge la notion d'objets individualisables et distinguables et celle de distance, nécessaires pour penser l'action à distance.

Je ne saurais trop recommander la lecture de cet ouvrage réunissant les meilleurs spécialistes, qui tous ont fait œuvre de pédagogie sur un sujet difficile de la philosophie antique et médiévale, mais aussi de la physique contemporaine.

Sabine Rommevaux-Tani

Simon Dumas Primbault, *Un galiléen d'encre et de papier : Une histoire matérielle des brouillons de Vincenzio Viviani (1622-1703)* (Éditions de la Sorbonne, 2024), 160 × 240 mm, 318 p., 57 fig., bibliogr., index rerum, index nominum, tables, coll. « Homme et société ».

C'est un ouvrage en tous points captivant qui nous est ici proposé. La célébrité de Vincenzo Viviani suffirait déjà à susciter l'intérêt.

Mais surtout, cet ouvrage apporte un éclairage bienvenu sur *l'ultimo discepolo* de Galilée, titre que le mathématicien affectionnait, affirme d'emblée Primbault. Sans faille, la portée de cette mention se précise au cours des pages avec la mise en évidence du tropisme « marqué », du mathématicien, pour la géométrie euclidienne. C'est, néanmoins, aux écrits privés de Viviani que mène de préférence cet ouvrage, à un univers personnel où la main, l'encre et le papier constituent les outils essentiels de l'activité intellectuelle. C'est là une dimension mal connue de l'œuvre du mathématicien ; les historiens, fort attachés, traditionnellement, à étudier en profondeur les travaux publiés, avaient plus négligé que pris en compte ses archives privées, très riches, et surtout ses manuscrits relevant de l'ingénierie mais pas seulement, dont toute sorte de notes, brouillons, dessins, rapports d'expert… Les écrits « d'ingénieur » de Viviani, mathématicien accompli et ingénieur malgré lui, sont très nombreux. Conservés à la Biblioteca Nazionale Centrale de Florence, où l'auteur a travaillé, ils « représentent la moitié de son œuvre manuscrite ». Le mathématicien, rappelle Primbault, a exercé des fonctions d'ingénieur durant toute sa vie, travaillant d'abord aux côtés de l'artiste-ingénieur Baccio del Bianco, son maître après Galilée, et, le moment venu, occupant la position de premier ingénieur du grand duc de Toscane. Il était donc du plus haut intérêt d'étudier, comme l'a fait Primbault, tout au moins une partie des papiers de travail de Viviani et de s'intéresser aux pratiques – lecture, écriture, dessin, observation – qui ont régi son activité savante. On a là, constate-t-il, un témoignage majeur du rôle de l'écrit dans la réflexion et la production des savoirs.

On y trouve présentées plusieurs images de feuilles manuscrites, parsemées de ratures et corrections, et aussi de dessins, croquis et tableaux. Elles confèrent à l'ouvrage, dont il faut souligner la qualité, l'« arome » des voyages de Viviani « à dos de cheval », de ses observations de terrain, imposés par son rôle d'ingénieur, et de celui de son « atelier » privé, son lieu de travail où il écrit, examine des documents et prend des décisions d'expert. Elles accompagnent assez pertinemment les analyses et le travail de mise en perspective effectué par Primbault. En presque 300 pages, ce dernier atteint son but : rendre visibles les contours d'un mathématicien-ingénieur en puisant dans son univers de l'écrit, privé, et dans ses pratiques concomitantes (lecture, observations, classement d'informations).

Chapitre par chapitre, l'auteur suit, en continu, un fil conducteur archivistique. À chaque fois, il se plonge dans un matériau papier qui est fonction des thématiques concernées. Au premier chapitre, émerge Viviani, dans un rôle d'archiviste, âgé de 18 ans et appelé par Galilée, âgé et presque aveugle, pour qu'il devienne son collaborateur et organisateur de ses papiers. L'auteur traite et analyse des notes manuscrites et des fiches où le jeune prodige, géomètre, classe et fait des index d'auteurs. Viviani travaillait « à la *divinatio* du livre perdu des *Coniques* d'Apollonius de Perga » et « mettait de l'ordre dans les œuvres de ce dernier ». La mort de Galilée en 1642 interrompt ce travail, Viviani est nommé aide de camp de Bianco et il est donc amené à travailler comme ingénieur. C'est le thème du second chapitre. Ici, l'auteur se plonge dans les *appunti* que Viviani élabore au cours de ses nombreux voyages, un travail sur le terrain, d'écriture et de dessins, qui ne s'arrête pas là car une fois revenu à la maison, Viviani continue à développer son réseau d'écritures. C'est décrit ainsi par l'auteur pour signifier la variété des modes et des procédés qui font qu'on peut parler de « technologie de papier ». Au chapitre suivant (chap. 3), l'auteur revient sur Viviani géomètre et son travail sur le livre d'Apollonius. L'auteur se plonge dans les brouillons qui sont la base du travail où Viviani, par ses motivations en rapport avec l'existence d'un manuscrit arabe du livre perdu d'Apollonius, est amené à s'affirmer comme « auteur ». Le chapitre 4, « Les eaux du Val d'Arno », révèle une fois de plus la figure de Viviani ingénieur. Il y est question d'expertises hydrographiques résultant d'un travail d'observation, de relevés et de mesures effectuées sur le terrain. Un projet qui est resté à l'état de proposition théorique de Viviani est l'occasion d'analyses supplémentaires, une étape de plus dans la complexification cherchée de son portrait d'ingénieur. Le chapitre 5 qui met en parallèle Viviani et Leibnitz, plonge l'auteur dans les écritures des deux savants, nettement distinctes entre elles : leurs prises de notes ne sont pas de la même nature. Au chapitre suivant, l'auteur traite encore de Viviani ingénieur, chargé de statuer sur l'état de la cathédrale Santa Maria del Fiore. Il plonge l'auteur dans une série de manuscrits relatifs à la Coupole de Brunelleschi et des fissures dont il a fallu s'occuper. Viviani, âgé, traite le problème et laisse des manuscrits qui se prêtent à un analyse génétique ; les brouillons se suivant, pour ainsi dire, chronologiquement. De fait, l'auteur mentionne dans l'introduction la critique génétique qu'il assume par la suite, sans qu'il appuie ses considérations sur des références génétiques spécifiques. Par rapport aux études sur l'écrit, les chapitres précédents sont surtout rattachés aux travaux sur l'histoire du livre et de la lecture. L'auteur ne les mentionne pas, mais on pourrait les rattacher aussi à l'histoire des textes scientifiques comme courant de pensée de ces dernières années. Enfin, le livre a un dernier chapitre qui met en scène « La supplique à Salviati (1697) ». Viviani revendique sa volonté de toujours : exercer la fonction de mathématicien, être une sorte de voix des mathématiques grecques, de la géométrie d'Euclide et de Galilée lui-même, être *l'ultimo discipulo*, l'héritier de celui qui avait été son premier maître. Cet ensemble de chapitres constituent en somme un ouvrage qui, issu du remaniement de la thèse de l'auteur en histoire moderne, soutenue en 2018 à Florence, immerge le lecteur dans la technologie de papier et dans des procédés matériels qui relèvent d'opérations cognitives que des études très récentes qualifient de « très complexes ». Nous ne pouvons que conseiller sa lecture. Mentionnons un erratum à la page 231, on y trouve « Fig. 38 », il faut lire « Fig. 48 ».

Martha Cecilia Bustamante

Yves Gingras, William R. Shea, *L'Ambassadeur de Galilée* (Paris : Les Belles Lettres, 2025), 150 × 220 mm, 296 p., ill., bibliogr.

Est-il encore possible de publier quelque chose de nouveau au sujet des démêlés de Galilée avec l'Église, de son procès et de sa condamnation ? Le livre de Y. Gingras (historien et sociologue des sciences) et W. R. Shea (historien des sciences et spécialiste de Galilée) démontre que la réponse est « oui ».

Pour raconter ce qui est peut-être l'épisode le plus emblématique des débuts de la science moderne, les auteurs ont fait le choix de prêter leur plume à Francesco Niccolini, dont ils écrivent les mémoires imaginaires. Niccolini fut ambassadeur du grand-duc de Toscane à Rome de 1621 à 1644. À ce titre, il tenta de protéger Galilée, premier mathématicien et philosophe du grand-duc, tout en préservant les relations entre Florence et le Vatican. Témoin et acteur de premier plan, Niccolini rencontre le pape presque chaque semaine, fréquente les cardinaux et les ecclésiastiques haut-placés et entretient une importante correspondance, notamment avec le grand-duc de Toscane qu'il tient chaque semaine informé de ce qui se passe à Rome. C'est en se fondant sur cette correspondance, mais aussi sur celle de Galilée, que les auteurs ont construit leur récit.

Le livre ne se présente pas comme un ouvrage savant et le spécialiste de Galilée ne doit pas s'attendre à y trouver des découvertes bouleversantes ou des thèses particulièrement originales. La force du livre est ailleurs, dans une mise en récit particulièrement efficace et dans la perspective choisie, qui nous emmène à la suite d'un diplomate dans les coulisses de l'histoire, là où se négocient les alliances, les accommodements, le choix des censeurs et la constitution des commissions. L'intérêt de ce livre pour l'histoire des sciences provient de ce que les « Mémoires » (fictives) de Niccolini qui constituent le récit s'appuient sur des documents authentiques et sur une abondante littérature secondaire. Le texte est très informé et l'érudition bien présente, sans être pesante. Les paraphrases et citations sont accompagnées de notes qui renvoient aux lettres utilisées (le plus souvent dans la célèbre *edizione nazionale* des Œuvres de Galilée [1]). La réussite du livre est d'avoir transformé l'érudition en un récit qui se lit comme un roman.

Le livre soutient aussi une thèse : celle de la contingence de l'histoire, qui se manifeste de manière exemplaire dans l'affaire Galilée. Cela contribue à la

1 - *Le Opere di Galileo Galilei*, dir. par Antonio Favaro (Florence : G. Barbèra, 1890-1909).

tension dramatique du récit : chaque lecteur sait dès la première page que Galilée sera condamné mais jusqu'aux derniers chapitres, lorsque Galilée est sommé de comparaître devant le redoutable tribunal de l'Inquisition, l'issue semble improbable. En 1611, lors de sa première visite à Rome, Galilée est reçu triomphalement, non seulement par le prince Cesi qui le nomme membre de la prestigieuse Accademia dei Lincei, mais aussi par les jésuites du Collège romain. Après cette visite, le cardinal Del Monte peut écrire au grand-duc de Toscane que toutes les découvertes de Galilée « ont été louées et reconnues non seulement comme authentiques, mais comme merveilleuses » et il ajoute « si nous étions sous l'ancienne république romaine, je suis certain qu'une statue de lui aurait été érigée sur le Capitole ». En 1620, le cardinal Maffeo Barberini, amateur de science et futur pape Urbain VIII, rédige des vers dans lesquels il fait l'éloge du savant florentin. Lorsqu'il est élu pape, en 1623, il choisit de s'entourer de savants favorables à Galilée. Son neveu, Francesco Barberini, lui aussi ami et admirateur Galilée tentera jusqu'au bout de protéger le savant, y compris pendant son procès. Le père Riccardi, autre personnage important de l'entourage du pape, fait aussi partie des admirateurs de Galilée. Il sera maître du sacré palais à partir de 1629 et, à ce titre, chargé d'accorder les *imprimatur* au moment où Galilée tentera d'en obtenir un pour le *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde.* Lorsque Galilée quitte Rome, en 1624, il est porteur d'une lettre pour le grand-duc, signée du pape, dans laquelle il est désigné comme un homme « dont la renommée brille dans le ciel et pour toute la Terre ». En 1630 encore, Niccolini peut écrire au grand-duc que Galilée a été, durant son séjour à Rome, « l'objet de l'estime de toute la cour pontificale ».

Comment les choses ont-elles pu ensuite si mal tourner ? Comment l'homme qui a d'abord été admiré par tout l'entourage du pape a-t-il pu être déclaré « véhémentement suspect d'hérésie » et contraint à l'humiliation d'abjurer à genoux ?

Les auteurs imaginent d'autres possibles : et si le prince Cesi, qui avait pris en charge la publication d'autres ouvrages de Galilée, n'était pas mort prématurément deux ans avant la parution du *Dialogue* ? Peut-être aurait-il pu trouver un arrangement avec le Vatican, comme il l'avait fait précédemment. Et si la peste ne s'était pas déclarée en 1632, empêchant Galilée de se rendre à Rome pour revoir, comme cela avait été convenu, la préface et la conclusion du *Dialogue* avec Riccardi ? Peut-être Galilée aurait-il suivi le conseil de celui-ci et renoncé à mettre dans la bouche de Simplicio, personnage souvent ridicule, les arguments du pape. Peut-être l'ouvrage aurait-il alors échappé à la colère d'Urbain VIII et aux foudres de l'Inquisition. Et si, au moment de l'affaire Galilée, le contexte politique n'avait pas été aussi difficile pour Urbain VIII, empêtré dans les tensions entre la France et de l'Espagne ? Peut-être n'aurait-il pas été aussi crucial pour le Saint-Siège de manifester qu'il exerçait fermement son autorité en matière de dogme.

Montrer que tout n'était pas joué d'avance est l'une des vertus pédagogiques de cet ouvrage. Mettre en cause l'image d'Épinal selon laquelle il y aurait, d'un côté le héros de la rationalité scientifique, seul contre tous, et de l'autre des obscurantistes soumis à la Bible et/ou aliénés à Aristote en est une autre.

Galilée n'était pas seul. Il a manqué du tact et de la prudence qui lui auraient permis de conserver l'estime générale dont il avait un temps joui. Redoutable débatteur, Galilée était convaincu que les arguments les plus solides finiraient par l'emporter. On peut voir là une admirable confiance dans la raison humaine, mais l'emporter avec de bons arguments ne suffit pas : il faut savoir ménager la fierté de ses adversaires. La description enthousiaste que le poète Antonio Querengo fait en janvier 1616 de l'habilité de Galilée à tourner tous ses adversaires en dérision (« Galilée réduit à néant la plupart des arguments avec lesquels ses adversaires tentent de l'embarrasser (...) avant de répondre aux objections, il les a développées et renforcées avec des arguments apparemment fort convaincants pour ensuite les démolir et rendre ses adversaires plus ridicules ») semble *a posteriori* témoigner d'une bien grande naïveté. L'ambassadeur Guicciardini, prédécesseur de Niccolini, avait fait preuve de plus de lucidité en écrivant à la même époque au secrétaire d'État du grand-duc : « Galilée a une idée fixe : tenir tête à ses adversaires et se battre contre qui il ne saurait gagner. Tôt ou tard, votre Seigneurerie apprendra qu'il a fait un terrible faux pas (...). » Ce ne sont pas seulement des arguments qui triomphent, mais aussi des stratégies, des réseaux, des groupes de pression, et l'habileté des amis ou des ennemis.

L'Ambassadeur de Galilée est aussi un bel exercice de sociologie des sciences. Il montre que la science moderne n'est pas seulement affaire d'idées, de concepts, de représentations et de mise au point d'une méthode expérimentale pour tester tout cela, mais qu'il faut des moyens matériels pour élaborer et répandre les idées et les découvertes : Comment faire circuler les livres, malgré la peste, les douanes, la distance, le mauvais temps ? Comment attirer l'attention des cours et des savants étrangers ? Mais aussi (et déjà) : Comment se financer ? Comment trouver le patron qui vous assurera les conditions de vie les plus confortables (Galilée choisira le grand-duc de Toscane plutôt que la république de Venise pour ne pas avoir à enseigner)? Comment convaincre les princes que vos découvertes pourraient leur donner un avantage militaire ou économique décisif (Venise a doublé le salaire de Galilée en échange d'une lunette qui permet d'apercevoir les navires bien avant qu'ils ne soient visibles à l'œil nu)?

L'Ambassadeur de Galilée est un livre précieux, qui pourra toucher un public plus large que celui auquel sont habituellement destinés les ouvrages d'histoire des sciences. Un livre à recommander à tous ceux qui veulent se glisser dans les coulisses d'un épisode fondateur de la science moderne.

Laurence Bouquiaux

Emmanuel Kant, *Pensées sur la véritable évaluation des forces vives*, sous la dir. de Stefano Veneroni, introd. par Michel Blay (Sesto San Giovanni, Italie : Éditions Mimésis, 2024), 140 × 210 mm, 330 p., bibliogr., coll. « Philosophie ».

Grâce au travail dirigé par Stefano Veneroni, nous disposons enfin d'une traduction française du premier ouvrage publié par Kant, en 1746, les *Pensées* *sur la véritable évaluation des forces vives*. Intervenant dans la fameuse querelle qui opposait, depuis un demi-siècle, les cartésiens aux leibniziens quant à la mesure de la force motrice (proportionnelle selon les premiers à la vitesse simple, selon les autres à son carré), le jeune Kant propose une solution intermédiaire. Du point de vue du mathématicien qui ne reconnaît que des forces extérieures au corps, seule la mesure cartésienne est correcte. Si en revanche on tient compte de la force *interne* dont sont dotés les corps réels de la nature, la mesure leibnizienne est valable. Honnêteté intellectuelle, effort pour concilier deux thèses en apparence directement contradictoires en s'interrogeant sur leurs présupposés respectifs, volonté critique de tracer les frontières entre les disciplines, ici mathématique et physique : ces trois lignes directrices suffisent pour reconnaître, dans l'audacieux jeune homme qui ne se laisse pas intimider par l'autorité de Leibniz et de la plupart des mathématiciens allemands, le futur auteur de la *Critique de la raison pure*.

L'ouvrage s'organise en trois chapitres : le premier, métaphysique, intitulé « De la force des corps en général », le second, principalement mathématique, dirigé contre l'évaluation leibnizienne de la force, le troisième, cherchant à articuler les deux points de vue au moyen d'une nouvelle théorie des forces vives. Au chap. 1, s'appropriant l'opposition leibnizienne entre force morte et force vive, Kant affirme qu'un corps en mouvement, même doté d'une vitesse finie, peut n'avoir qu'une force morte s'il perd sa vitesse dès que la cause extérieure de son mouvement cesse. Seuls les corps susceptibles de conserver leur vitesse sont dotés d'une force vive. Il résulte de cette étrange manière de voir que le principe d'inertie ne serait pas valable universellement, comme Kant ose le soutenir au chap. 3.

Au chap. 2, Kant cherche à réfuter toutes les preuves « mathématiques » qui ont pu être avancées par les leibniziens en faveur de leur estime de la force. Il s'attaque d'abord aux arguments fondés sur la considération de la gravité (§ 30-38), puis à ceux tirés des lois du choc des corps (§ 39-69), enfin à ceux qui regardent la composition des mouvements (§ 70-91). Ses remarques témoignent d'une connaissance précise de tous les aspects de la querelle. L'originalité de sa démarche tient à ce qu'il mobilise les principes leibniziens eux-mêmes pour les retourner contre leur auteur. Le principe de continuité en particulier, que Leibniz avait su lui-même utiliser pour réfuter les lois du choc des corps données par Descartes (Kant le rappelle au § 26), joue un rôle central dans son argumentation : si la mesure par la force vive était valable pour tout mouvement réel, quelle que soit la vitesse, alors, raisonne Kant, elle devrait encore valoir pour un mouvement infiniment petit, ce que même les leibniziens nient.

L'argument précédent, tout contestable qu'il soit il me semble, est au centre du traité de Kant et il nous en révèle la méthode. Au lieu de se perdre dans le détail des démonstrations pour ou contre les forces vives, il s'est interrogé sur les *conditions* qui donnent lieu à l'idée de force vive. Il a vu que la condition essentielle, de l'aveu même des leibniziens, est que le corps ait un mouvement réel, non seulement une aspiration au mouvement. « Cependant, en examinant la nature de cette condition, je compris facilement que, puisqu'on peut la situer dans le même genre que la condition de la force morte et qu'elle n'en diffère que quantitativement, il est impossible qu'elle ait une conséquence qui soit *toto genere* différente de la conséquence des conditions d'une force morte (...) Je vis alors (...) que la réalité du mouvement ne peut point constituer un fondement suffisant pour conclure que les forces des corps dans cet état doivent être équivalentes au carré de leur vitesse (§ 88). » À partir de là seulement, il a commencé à soupçonner des erreurs dans les arguments des leibniziens. La méthode ici indiquée par Kant n'est-elle pas analogue à celle qu'il a mise en œuvre plus tard, certes avec plus de succès, à propos de la connaissance métaphysique en général, en se demandant s'il pouvait bien y avoir dans la raison pure de quoi tirer les connaissances suprasensibles que les métaphysiciens prétendaient obtenir ?

Ayant bataillé contre tous les tenants des forces vives (Hermann, Bülffinger, Bernoulli, la marquise du Châtelet, Leibniz lui-même, etc.), Kant ménage une sorte de coup de théâtre au dernier chapitre : l'évaluation leibnizienne est pourtant valable si l'on envisage les corps *physiquement*, et non pas seulement *mathématiquement*. La force vive, explique-t-il, ne procède pas de la vitesse du corps, mais de sa tendance interne à conserver l'état de mouvement dans lequel il se trouve. Cette tendance, qu'il nomme *intension*, est proportionnelle à la vitesse lorsqu'elle est présente dans le corps, mais pour avoir la force complète à laquelle elle donne lieu il faut multiplier de nouveau l'intension par la vitesse (§ 119). Or, toujours en se servant du principe de continuité, Kant croit pouvoir établir l'existence d'une *vitesse minimale* en-deçà de laquelle un corps ne serait pas capable de conserver tout son mouvement, et donc n'aurait qu'une force intermédiaire entre la force morte et la force vive, mais aussi d'une *vitesse maximale* au-delà de laquelle il ne peut maintenir de lui-même toute sa vitesse. Il résulte entre autres, de cette idée déconcertante, qu'une partie de la force vive pourrait se perdre dans un système fermé, même si dans l'univers entier Kant suggère que ces pertes sont toujours compensées.

On trouve plus d'un germe de l'œuvre future dans ce texte foisonnant. Au chap. 1, soutenant déjà avec raison, contre Leibniz, la contingence de la tridimensionnalité de l'espace, Kant y voit une conséquence de la loi d'interaction entre les substances de notre monde (la gravitation universelle). Et il affirme la possibilité d'une pluralité de mondes ayant chacun une structure spatiale différente. Ou bien, lorsqu'il prend la défense de l'idée d'une *force négative* avancée par Dortous de Mairan (lequel fut tourné en dérision à ce sujet par la marquise du Châtelet), ses réflexions sur le sens des grandeurs négatives contiennent déjà l'idée essentielle qui sera développée dans l'*Essai* de 1763 (voir § 56 et 57).

Il s'agit évidemment d'une lecture difficile. Une connaissance préalable du débat sur les forces vives est nécessaire pour comprendre les arguments critiqués dans la deuxième partie. Cette première difficulté n'est pas insurmontable pour le lecteur attentif, parce que Kant prend toujours la peine d'exposer honnêtement la pensée à laquelle il s'oppose, et les traducteurs fournissent des références bibliographiques abondantes et précises. Mais la traduction est assez lourde, et même parfois incorrecte. On relève des maladresses [1], des erreurs de syntaxe [2], parfois même des contresens [3]. Ces inexactitudes n'empêchent pas de suivre la pensée de Kant dans ses grandes lignes et, pour les détails, il est toujours possible de consulter l'original allemand, facilement accessible en ligne. Au lecteur non germanophone, cette traduction, malgré ses défauts, épargnera donc bien des efforts et permettra d'admirer l'audace et la parfaite honnêteté intellectuelle qui percent déjà dans ce premier écrit, laissant pressentir l'œuvre future.

Mathieu Gibier

Guillaume Linte, *Hygiène navale et médecine des colonies en France (xvi^e^-xviii^e^ siècle)* (Paris : Les Indes Savantes, 2023), 155 × 240 mm, 366 p., ill., bibliogr., 2 index, tables.

Dans cet ouvrage, Guillaume Linte analyse les savoirs et les pratiques qui fondent l'hygiène et la santé navales dans le contexte maritime et colonial français. Il présente les dimensions sociales, politiques et culturelles essentielles pour comprendre les connaissances scientifiques et les techniques nécessaires à la réussite des voyages transocéaniques. Considérant que l'entreprise maritime était très importante pour l'État français à l'époque moderne, il était nécessaire de mettre en place différentes entités qui s'occupent de l'amélioration de la santé des gens de mer pendant le xviii^e^ siècle.

Tout au long de l'ouvrage, Linte définit et utilise le terme « voyages transocéaniques ». Pour lui, un tel voyage consiste à traverser l'océan ou à naviguer à une distance de la côte telle que celle-ci n'est pas visible pendant plusieurs semaines. Ainsi, les voyages entre les masses continentales sont considérés comme des voyages transocéaniques. Bien que la plupart des voyages évoqués dans l'ouvrage partent d'Europe, Linte précise explicitement que l'Europe ne doit pas nécessairement être le point de départ d'un voyage transocéanique, ce qui permet de l'appliquer aux voyages impliquant des relations d'échange entre l'Asie et l'Amérique par exemple. La définition de Guillaume Linte est importante si l'on considère les interactions entre les continents et s'applique clairement à de nombreux contextes au-delà de ceux présentés dans le livre. Par exemple, les voyages entre Acapulco et Manille à bord du

1 - Par exemple « engendre une confusion infinie » au lieu de « donne lieu *sans cesse* à des confusions », § 59, *unendlich* étant ici un adverbe ; « faire appel à leur énonciation » au lieu de « faire appel *de* leur énonciation », § 114 ; « ce qui est l'unité » au lieu de « ce qui est la même chose », § 116.

2 - « Se montrerait sous un jour d'autant plus favorable que la conviction personnelle », § 58 ; « l'origine principale des erreurs … qui a révélé par la suite une considération très simple » au lieu de « *qu'a* révélées par la suite une considération très simple » ; « celle-ci est précisément si grande pour ne pas pouvoir transmettre à un corps (…) plus d'un degré de vitesse » au lieu de « celle-ci est juste assez grande pour transmettre un degré de vitesse », § 110.

3 - La phrase du § 54, « En fait, dans tous les cas possibles, la même quantité de force se maintient » en est un. Cela n'est vrai que *dans la proposition de Leibniz*, précision omise dans la traduction.

galion de Manille correspondent parfaitement à cette définition et présentent les mêmes défis sanitaires et hygiéniques.

L'auteur structure son propos en six grandes parties : un prologue et cinq chapitres. Dans le prologue, Guillaume Linte souligne l'importance de l'expérience « individuelle » de chaque voyage transocéanique. Il souligne que chaque récit transocéanique est unique, chaque aspect d'un voyage contribuant à une multitude de récits individuels : le type de navire, l'expertise du capitaine, les accidents, les maladies, les événements climatiques, etc. Ces expériences variées permettent de construire un récit plus large des entreprises navales de l'époque moderne, un récit qui n'est pas eurocentrique et qui cherche à donner une vision globale des traversées maritimes de l'époque moderne. Aussi, Linte fait appel à divers voyages transocéaniques pour mieux comprendre les besoins en matière de santé et d'hygiène des opérations navales de l'époque.

Dans le premier chapitre, l'auteur présente les innovations de la médecine française au début de l'époque moderne. Avec l'essor des voyages transocéaniques, de nouveaux horizons s'ouvrent à la fois sur terre et sur mer, et les enjeux médicaux jouent un rôle important dans la réussite de ces entreprises. Dans ce contexte, l'implication de l'État dans la mise en place de services de santé a été cruciale, cette implication est visible notamment dans la création des hôpitaux de la marine et des écoles de chirurgie navale comme celles de Rochefort, Toulon et Brest ; l'importance des voyages transocéaniques et l'engagement de l'État est également visible dans les discussions au sein de la Société royale de médecine et de l'Académie royale de chirurgie sur la « médecine coloniale ».

Dans le deuxième chapitre, Linte examine le navire en tant que nouveau complexe sanitaire qu'il convient de comprendre. Il explique qu'au début de l'époque moderne, deux facteurs sont essentiels au maintien de la santé : l'environnement et le régime alimentaire. L'auteur présente les différentes façons dont les acteurs clés du contexte naval français ont modifié ces deux aspects pour maintenir les gens en bonne santé en mer et dans les colonies. Une grande partie du chapitre est consacrée à la prévention du scorbut ; pour Linte, le scorbut n'est pas seulement une maladie du voyage et de l'exploration, mais aussi une maladie des empires. Dans l'Empire britannique, le scorbut était présent sur les navires, dans les prisons et dans l'armée des Indes orientales. En France, il est présent en mer, dans les colonies et sur le continent. Il était donc essentiel de pouvoir identifier et traiter le scorbut, en prenant des mesures telles que la distribution d'aliments moins salés et moins secs et la garantie d'un environnement plus propre.

Dans le troisième chapitre, l'auteur aborde les maladies spécifiques aux climats chauds, car la santé dans les contextes coloniaux, en particulier dans les climats tropicaux, était au cœur des entreprises commerciales et coloniales. À partir du XVIe siècle, les régions situées entre les tropiques, connues sous le nom de zone torride, ont été considérées comme des environnements pathogènes où la santé des Européens était menacée en raison des climats extrêmes et des maladies locales. Linte explique, dans ce chapitre, que la présence européenne aux XVIIe et XVIIIe siècles a permis de mieux connaître les terres tropicales, les maladies indigènes et les environnements. Cependant, si ces connaissances n'ont pas permis une meilleure acclimatation, elles ont contribué aux progrès de la médecine et à une meilleure compréhension des soins de santé en Europe. Par exemple, l'auteur montre que les hôpitaux en Europe et les navires peuvent aussi être des environnement pathogènes où des maladies diverses peuvent se développer ; des techniques de purification de l'air dans ces endroits étaient une avancée dans les chances de survie des malades.

Dans le quatrième chapitre, Linte traite de la prévention des maladies en mer. Il montre qu'entre le XVIe et le XVIIIe siècle, il n'y a pas eu de changements significatifs dans les idées et les pratiques primaires de la médecine préventive, malgré les développements de la théorie médicale et la révolution chimique. Au cours de cette période, la pratique la plus importante consistait à nettoyer le navire et à favoriser la circulation de l'air pour purifier l'atmosphère.

Dans le dernier chapitre, Linte présente différentes machines développées pour maintenir les conditions sanitaires sur les navires, comme celles destinées à purifier l'air dans les parties du navire où il ne circulerait pas naturellement. L'auteur note que ce mouvement technique dans la marine est né des problèmes de l'hygiène navale française, révélées lors de la guerre de Sept Ans. Linte explique également que les archives contiennent de nombreuses monographies et projets liés aux innovations techniques soumises au département de la marine, et il inclut des images de certains de ces dispositifs. Ce chapitre invite à poursuivre les recherches sur les différents types d'appareils créés dans divers contextes navals, notamment ceux destinés à la purification de l'air, à la production d'eau douce et à la conservation des aliments.

Ce livre offre une exploration complète du sujet choisi par Guillaume Linte. L'auteur démontre sa maîtrise des sources nationales françaises relatives à la marine, aux colonies, à la médecine navale et à la défense. Il constitue une excellente introduction à l'histoire de la médecine dans le contexte maritime français. Cependant, deux critiques principales peuvent être formulées. Tout d'abord, malgré son titre, l'ouvrage n'aborde que très peu la médecine coloniale ; et deuxièmement, l'inclusion des femmes par Linte semble quelque peu artificielle : bien qu'il mentionne brièvement les femmes en tant que voyageuses, il n'y a aucune preuve qu'elles aient joué un rôle important dans la médecine navale au début de la période moderne. Néanmoins, ce livre est vivement recommandé à toute personne intéressée par l'histoire de la médecine navale entre le XVIe et le XVIIIe siècle.

Mariana SÁNCHEZ

Gérard-Luc Néouze, *Émile Maupas, 1842-1916 : Le savant de la casbah d'Alger* (Saint-Étienne : Les Éditions de l'Officine, 2024), préface Jean-Pierre Dedet, 170 × 240 mm, 144 p., 38 fig., bibliogr., table.

L'histoire des sciences demeure aujourd'hui encore un domaine académiquement mal circonscrit, à l'intersection de plusieurs disciplines et à la méthodologie ouverte. L'avantage de cette situation est d'autoriser des contributions significatives à des personnes qui ne sont pas du sérail. C'est à cette catégorie qu'appartient le petit livre publié récemment par Gérard-Luc Néouze, et qui porte sur le zoologiste Émile Maupas (1842-1916). Maupas, qui n'occupa aucun poste universitaire, fit l'essentiel de sa carrière comme conservateur de la bibliothèque d'Alger. Son œuvre zoologique, intégralement réalisée durant son temps libre, fut pourtant de tout premier ordre (ce qui lui valut notamment d'être nommé membre correspondant à l'Académie des sciences). Au sein d'une quarantaine de publications, on retient en particulier son travail fondateur dans la compréhension des étapes du processus de conjugaison chez les infusoires ciliés, ainsi que l'identification du petit ver *Caenorhabditis elegans*, devenu après la seconde guerre mondiale un organisme modèle classique en génétique moléculaire et en biologie du développement.

Ce livre ne porte pas proprement sur l'œuvre scientifique de Maupas, mais plutôt sur l'itinéraire si singulier qui conduisit le jeune diplômé de l'école des Chartes à demander sa mutation en Algérie afin d'être dans les meilleures conditions possibles pour étudier les animaux microscopiques, en particulier les protozoaires. Réflexion d'un « amateur » (en histoire des sciences) à propos d'un « amateur » (en zoologie), ce récit réussit, par juxtaposition de petites touches dénommées « tableaux », à faire ressentir cette trajectoire biographique mieux qu'aucun autre travail auparavant.

Pour cela, outre une écriture fluide et agréable, l'auteur tire avantage de deux choses essentiellement. Il aura durant plusieurs années réalisé un travail en archives absolument considérable. En effet, Maupas, qui ne se maria jamais et n'eut pas d'enfant, n'a pas laissé pléthore de traces au-delà de ses articles scientifiques. Son exil à Alger n'a pas non plus favorisé ses relations (au moins dans le milieu de la zoologie), et peu de témoignages à son propos nous sont finalement parvenus. Il était donc demeuré un personnage assez insaisissable, un illustre inconnu en quelque sorte. L'énigme de cet itinéraire est ici en partie levée grâce notamment à la mise au jour de la correspondance entre Maupas et Jean-Baptiste Rames. Pharmacien à Aurillac, c'est Rames qui, vraisemblablement, initia son nouvel ami aux joies des sciences naturelles lorsque Maupas prit son premier poste dans le Cantal, comme directeur des archives départementales. Cette correspondance, qui ne compte que quelques lettres, permet à Gérard-Luc Néouze de documenter la naissance d'une vocation, de l'arrivée de Maupas à Aurillac, en 1867, jusqu'à son départ pour Alger, au printemps de 1870, puis son installation dans le quartier populaire de Bab-el-Oued, où il demeura finalement toute sa vie.

Encore que « documenter » n'est probablement pas le bon mot. En effet, et c'est là très certainement la grande force de ce livre, il ne s'agit pas tant pour l'auteur de faire œuvre d'historien mais plutôt de nous inviter à revivre cet itinéraire singulier, cette vie faite d'une série d'événements à échelle humaine. Pour cela, Gérard-Luc Néouze, qui a lui-même grandi à Alger, s'appuie sur sa connaissance de première main de la ville, de sa topographie, de ses sons, de sa lumière. Il nous ouvre les portes de la modeste maison de Maupas, rue de Dijon, sur le front de mer. Il décrit l'équipement artisanal de son laboratoire, entre autres sur la base de nouvelles photographies qu'il est parvenu à exhumer. Il rend concret le quotidien algérois de ce fonctionnaire de l'Empire colonial, rapidement pris au jeu de la science. S'il le fait si bien, c'est aussi parce que l'auteur a un lien personnel avec son sujet. C'est en effet à la faveur de sa propre rencontre, encore enfant, avec Edmond Sergent à l'Institut Pasteur d'Alger, qu'il découvrit, de manière fortuite, Émile Maupas. Comme il l'indique à la toute fin, il avait donc quelque chose comme une dette à honorer, qui finalement a pris la forme de ce livre surprenant.

Laurent Loison

Mathilde Tahar, *Du finalisme en biologie : Bergson et la théorie de l'évolution* (Presses universitaires de France, 2024), 135 × 215 mm, 406 p., 9 fig., bibliogr., tables.

Mathilde Tahar, philosophe de la biologie et chercheuse à l'University College London, propose dans son ouvrage *Du finalisme en biologie : Bergson et la théorie de l'évolution* une réflexion rigoureuse sur les liens entre biologie contemporaine et philosophie bergsonienne. À partir d'une enquête sur le concept de finalisme, souvent délaissé dans les théories modernes de l'évolution, elle engage un dialogue fécond entre la pensée de Bergson et les enjeux actuels des sciences du vivant. Loin d'une lecture purement historique, Tahar mobilise la pensée bergsonienne pour éclairer les débats contemporains, en particulier la manière dont l'évolution est pensée dans la biologie actuelle. Elle défend une vision philosophique qui prend au sérieux le caractère créateur, non-linéaire et temporel du vivant, à rebours des conceptions mécanistes ou téléologiques classiques. L'élan vital, concept-clé de Bergson, devient ici le point d'ancrage d'une théorie de l'agentivité biologique, qui refuse aussi bien le réductionnisme génétique que la projection d'une finalité préétablie.

Le premier chapitre revient sur les grandes théories évolutionnistes – darwinisme, mutationnisme, orthogenèse, néolamarckisme – en interrogeant leur rapport au finalisme. Mathilde Tahar montre par exemple, que le darwinisme, malgré sa prétention à la neutralité téléologique, reste ambigu quant à l'idée de direction au sein de l'évolution. C'est précisément cette ambivalence que Bergson met au jour pour proposer une alternative [1] : ni finalisme rigide, ni causalité mécanique, mais affirmation d'une créativité radicale du vivant. Le refus bergsonien de penser la vie en termes de simples causes ou de fins devient le fil conducteur de l'ouvrage.

1 - Henri Bergson, *L'Évolution créatrice* (Paris : Félix Alcan, 1907).

Dans le deuxième chapitre, Mathilde Tahar approfondit la notion d'élan vital en l'articulant à celle de durée. L'évolution ne devrait ainsi pas se comprendre comme un enchaînement déterministe, mais comme un processus temporel irréversible, où chaque moment porte une invention du réel. Cette conception permet à Mathilde Tahar de proposer ce qu'elle nomme une téléologie rétrospective : si l'évolution n'est pas orientée vers un but, elle peut néanmoins être relue comme un processus cohérent, dans lequel la nouveauté n'est pas l'effet d'un hasard pur, mais l'expression d'une dynamique interne. L'élan vital, compris comme puissance d'improvisation, permet alors de sortir du dualisme entre mécanisme et finalité. Ce n'est pas une force mystique, mais une hypothèse métaphysique permettant de penser la capacité du vivant à créer du nouveau. L'autrice de l'ouvrage insiste ainsi sur l'actualité de la critique bergsonienne à l'encontre des modèles explicatifs qui réduisent l'évolution à un pur calcul des contraintes génétiques ou environnementales. Le vivant, chez Bergson et chez Tahar, n'est pas une machine programmée, mais un processus en acte, toujours en excès sur ce qu'il est.

Le troisième et dernier chapitre développe la notion centrale et nouvelle d'agentivité biologique. Loin d'être un objet passif soumis à des forces extérieures, l'être vivant est désormais conçu comme un sujet capable d'agir sur son devenir. Cette idée, que Tahar tire de Bergson mais prolonge de manière originale, permet de penser une évolution ouverte, sensible à des potentialités non réalisées. En ce sens, l'élan vital devient le nom d'une virtualité active, à même d'articuler individuation, temporalité et créativité dans le champ du vivant, tout en permettant au vivant de s'inscrire dans sa propre histoire évolutive.

À travers cette relecture rigoureuse et inventive, Mathilde Tahar montre que la pensée bergsonienne ne se contente pas d'inspirer une philosophie de la biologie : elle en renouvelle les fondements. Son analyse croise les dimensions épistémologiques, métaphysiques et éthiques de l'évolution, en articulant liberté, création et historicité. Le finalisme bergsonien, tel qu'elle le réélabore, ne renvoie pas à une fin donnée d'avance, mais à une orientation immanente, lisible dans le déploiement même de la vie.

Ce qui fait la force de ce livre, c'est qu'il ne s'agit pas d'un simple commentaire de Bergson, mais d'une pensée en acte, qui engage la philosophie bergsonienne dans un dialogue critique avec la biologie contemporaine. Mathilde Tahar n'hésite pas, en effet, à reformuler certaines thèses bergsoniennes à partir des apports de la science actuelle, tout en maintenant une exigence conceptuelle, permettant ainsi une discussion entre les deux domaines de recherche considérés à tort comme divergents. Elle montre alors que la philosophie (et particulièrement la philosophie bergsonienne) peut, aujourd'hui encore, contribuer à penser les conditions de possibilité de la vie et de son devenir. Cet ouvrage constitue selon moi une contribution majeure à la philosophie de la biologie et à la philosophie bergsonienne. Il s'adresse aux chercheurs, philosophes, biologistes, mais aussi à un public plus large désireux de comprendre comment penser l'évolution autrement qu'en termes de nécessité ou de hasard. Fidèle à la méthodologie bergsonienne d'intuition et de rigueur, la philosophie que propose Mathilde Tahar « considère, un à un, les problèmes, persuadée que chacun d'eux réclame un effort d'approfondissement distinct et un travail de documentation extrêmement considérable [2] ».

Doudja Boumaza

Pierre Verschueren, *Des savants aux chercheurs : Les sciences physiques comme métier (1945-1968)* (Paris : ENS Éditions, 2024), préface Christophe Charle, 155 × 232 mm, 436 p., 16 fig., 8 tableaux, bibliogr., 3 index, tables, coll. « Éducation et savoirs en société ».

Quarante ans après la publication de Dominique Pestre, *Physique et physiciens en France : 1918-1940*, Pierre Verschueren reprend l'histoire de la discipline pour le période des trente glorieuses, mais mettant moins l'accent sur les recherches et davantage sur les transformations institutionnelles. En prenant comme base sa thèse soutenue en 2017, Verschueren s'éloigne des approches de type *science and technology studies*, et il s'inspire de la sociologie de Pierre Bourdieu, ainsi que des travaux de David Kaiser et Yves Gingras, pour bâtir un récit autour de la transformation de la profession scientifique en France. Son argument principal est le constat d'une substitution graduelle, complexe et conflictuelle du modèle alternatif du « chercheur » au modèle traditionnel du « savant ». L'idéal-type du « savant » serait caractérisé par la production de savoirs spécialisés mais avec des visées universalistes, une faible distinction entre activités théoriques et expérimentales et un lien fort au statut d'enseignant, et celui du « chercheur », par une spécialisation précoce, le travail en équipe et une plus forte insertion dans des communautés transnationales. À côté de ces deux modèles, Verschueren distingue aussi des figures de transition, comme les savants devenus « grands patrons » de la recherche, capables d'attirer ressources étatiques et industrielles, et qui amorcent une forte hiérarchisation des équipes scientifiques.

Ces transformations sont mises en rapport avec la massification des facul-

2 - « La philosophie que j'expose n'est pas un système ; elle n'a pas réponse à tout ; elle considère, un à un, les problèmes, – persuadée que chacun d'eux réclame un effort d'approfondissement distinct et un travail de documentation extrêmement considérable. Un philosophe, laissé à ses seules forces, ne peut jamais faire cette étude approfondie que pour un très petit nombre de questions. S'il arrive à élucider un ou deux points, c'est déjà beaucoup. Sur le reste il aura naturellement une opinion, puisque la vie et l'action exigent qu'on en ait une : mais cette opinion, même si elle est celle d'un philosophe, ne sera pas philosophique, tant qu'elle n'aura pas subi l'épreuve de la méthode qui est propre à la philosophie. » Cette citation que je reprends ici pour définir la philosophie de Mathilde Tahar dans cet ouvrage, est issue de la lettre que Bergson écrit à Monsieur l'Abbé J. de Tonquédec en 1911, dans laquelle Bergson affirme qu'une véritable démarche philosophique ne cherche pas à tout expliquer dans un système total, mais à approfondir rigoureusement chaque problème de manière singulière, en acceptant que seule une minorité de questions puisse être réellement élucidée par un travail philosophique authentique. La lettre se trouve dans Henri Bergson, *Correspondances II*, éd. par Florent Serina et Caterina Zanfi (Paris : Presses universitaires de France, 2024).

tés de sciences (de 25 000 étudiants en 1950 à 125 000 en 1966 ; de 1 600 enseignants en 1950 à 11 000 enseignants en 1970) qui deviennent le laboratoire de la transformation du paysage académique français (44 % des docteurs sont déjà issus de disciplines scientifiques en 1944, mais ce pourcentage augmente jusqu'à 72 % en 1968). Verschueren analyse l'explosion démographique et institutionnelle à partir d'une base de données recensant les 18 575 thèses de physique soutenues dans cette période, qu'il exploite par le moyen d'outils statistiques et d'analyse de réseaux sociaux. Pourtant, les résultats les plus remarquables sont obtenus par des méthodes qualitatives traditionnelles, comme la référence à des entretiens oraux et le dépouillement d'archives universitaires et du Centre national de la recherche scientifique (CNRS), qui permettent à l'auteur de donner des détails éclairants sur les carrières scientifiques individuelles et de doter le livre d'autant de profondeur historique que de chaleur humaine.

Le livre est structuré en trois parties, composées de trois chapitres chacune, et précédées d'un excellent prologue intitulé « Le huron et l'université », qui fait état de la recherche française des années 1950 à partir des rapports de Charles M. Pomerat, *officer* de la fondation Rockefeller à Paris. La première partie, consacrée à l'évolution des facultés de sciences, décrit le fonctionnement du système des chaires universitaires avant 1968. Caractérisé par une forte hiérarchisation et par la centralité de Paris dans la reproduction académique (80 % des thèses sont soutenues à Paris en 1945), ce système est mis en tension par la croissance démographique de l'université dans les années 1960 et par l'émergence d'un « tiers état » formé par des assistants et maîtres de conférences, qui revendiquera une reconnaissance accrue de la main des syndicats. Le tableau est complété par une vision renouvelée de l'histoire du CNRS, institution initialement restreinte au financement de laboratoires universitaires et à l'allocation de bourses et qui ne deviendra source de parcours professionnels indépendants que plus tardivement. Néanmoins, l'étude des cohortes bénéficiant des allocations du CNRS révèle l'importance de cette institution pour l'accès à la recherche de groupes marginalisés *de facto* par le système universitaire, comme les femmes ou les étrangers.

La deuxième partie de l'ouvrage aborde les transformations subies par les études universitaires de deuxième et troisième cycle, ainsi que la place de la mobilité internationale dans la formation à la recherche. Le point de bascule est la réforme de 1958, qui a établi de nouveaux réquisits pour l'obtention de la licence en sciences et pour l'accès au doctorat, qui a désagrégé les licences de physique et chimie et qui a introduit dans la formation universitaire des « travaux dirigés » allant à l'encontre de la transmission verticale des savoirs. Au troisième cycle, la réforme « la plus discrète et la plus utile » a été l'introduction de formations de troisième cycle et une évaluation basée presque exclusivement sur des recherches originales. Ces transformations vont de pair avec une internationalisation initialement portée par des aides américaines comme celles du programme Fullbright (dont les premiers bénéficiaires sont, pourtant, des Américains en séjour en Europe) et, à partir de la fin des années 50, par des programmes propres au CNRS.

La troisième et dernière partie analyse les effets de ces transformations sur la structure sociale de la profession scientifique et sur l'organisation de la recherche dans des institutions spécifiques comme l'École normale supérieure (ENS) ou l'Institut du radium. À partir d'une étude sur les rapports de thèse collectés dans sa base de données, Verschueren rejette l'idée que l'ENS a joué un rôle prédominant dans la production de docteurs à ce période, et il souligne à nouveau l'importance du CNRS pour l'accès des femmes aux professions scientifiques. Il trace également une dichotomie entre deux modèles de recherche, l'un caractérisé par le travail autonome dans des laboratoires de petite échelle (par exemple les laboratoires promus par Alfred Kastler et Yves Rocard à l'ENS), et l'autre organisé sur un modèle de science à grande échelle (bien représenté par l'extension de l'institut Curie à la nouvelle faculté de sciences de Saclay, et par les équipes de recherche autour du cyclotron d'Orsay).

Chacune de ces études est présentée par Verschueren avec subtilité et finesse, en modulant harmonieusement l'échelle d'analyse, du collectif aux histoires personnelles, et en traçant en détail les conflits que ces transformations ont provoqués en rapport aux différences de génération, d'ego, de parcours, de classe sociale, de nationalité ou d'inscription dans des réseaux spécifiques. Manque seulement une réflexion plus approfondie sur les effets de ces changements structurels sur les savoirs produits, ainsi que sur le rôle social et culturel de la physique dans la société française. À part cela, le pari est bien réussi, et le livre avance des arguments solides sur la transformation des rôles et des éthos professionnels, sur l'importance de l'université pour ces changements et sur le rôle moteur de la physique dans la transformation du paysage universitaire. On ne peut que souhaiter que ce livre et son approche inspirent de nouvelles thèses ou enquêtes sur des périodes postérieures ou sur d'autres disciplines scientifiques.

Nestor Herran

NORMES DE PRÉSENTATION DES ARTICLES SOUMIS À LA REVUE POUR PUBLICATION

Envoyer l'article à la rédaction sous la forme d'un fichier, accompagné d'une version pdf anonymisée, à l'adresse électronique : contact-rhs@ens.fr. L'article doit être accompagné d'un résumé en français suivi de mots-clés et de la traduction du résumé et des mots-clés en anglais. Ne pourront être soumis à la procédure d'expertise en double aveugle que des articles proposés pour publication à la *Revue d'histoire des sciences* qui ont été soigneusement rédigés, relus et présentés.

Longueur maximum : 70 000 signes, espaces et notes incluses. Saisir le texte en Times New Roman, corps 12, interligne 1,5. Indiquer vos nom, prénom, adresse professionnelle complète (ou privée pour les retraités) et adresse électronique sur une page initiale ne comportant que cela. Expliciter toutes les abréviations lors de leur première mention ou dans une liste placée en début d'article. Indiquer les prénoms entiers de toutes les personnes citées (savants, historiens, chercheurs…), lors de leur première mention. Ensuite on pourra les désigner par leur seul nom de famille. Indiquer, entre parenthèses, les dates de naissance et de décès de ces personnes chaque fois que cela est pertinent.

NOTES

Les créer et numéroter à l'aide de la fonction « insertion automatique » de son traitement de texte et les placer en bas de page. Longueur maximum de l'ensemble des notes : de l'ordre du quart de l'article. Forme de l'appel de note :

- dans la « zone titre » : *, **, ***, etc.
- dans la suite de l'article : chiffre arabe en exposant (exemple : cet article [4]…) ; devant la note elle-même, chiffre arabe suivi d'un tiret (exemple : 4 - Article publié dans…). Numérotation en continu, à partir de 1, jusqu'à la fin de l'article.

Chaque note doit se rapporter à un endroit précis du texte : la *Revue* n'accepte pas les notes concernant tout un paragraphe ou un ensemble de paragraphes.

CITATIONS

Elles seront placées entre guillemets mais composées en italique seulement si la langue diffère de celle du texte courant de l'article. Indiquer en note la référence bibliographique complète (avec mention de la page) de la source. S'il s'agit d'une traduction du texte original, le préciser et indiquer la langue d'origine et la source (auteur de l'article ou référence bibliographique précise de la traduction – de référence, de préférence – citée). Fournir le texte original en note éventuellement.

FIGURES

Ne pouvant être imprimées en quadrichromie, les figures et illustrations doivent nous être fournies en noir et blanc. Elles nous seront envoyées dans un format image (pdf, jpeg, tiff, etc.) en haute définition. Dans le corps du texte, indiquer entre parenthèses ou crochets les endroits où celles-ci doivent être insérées. Transmettre les figures et illustrations ainsi que leurs légendes dans des fichiers distincts de celui contenant le texte de l'article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Elles doivent obligatoirement être placées en notes. Elles doivent être complètes et exactes. Indiquer les prénoms des auteurs en entier. En règle générale, on n'utilisera pas l'abréviation « p. » pour « page » (écrire « 16-32 » pour « pages 16 à 32 ») sauf quand son absence pourrait être source de confusion comme dans certaines références complexes (cf. *infra*).

Ouvrages

Mirko D. Grmek, *Le Legs de Claude Bernard* (Paris : Fayard, 1997). *(Les mentions du lieu d'édition, de l'éditeur et de l'année de parution sont obligatoires, sauf pour les ouvrages antérieurs au XX^e^ siècle, pour lesquels on pourra se dispenser de celle de l'éditeur uniquement.)*

Articles

Pascal Descamps, La découverte de Neptune : Entre triomphe et camouflet, *Revue d'histoire des sciences*, 68/1 (2015), 47-79. *(Pour : tome 68, n° 1, année 2015, pages 47-79; pas de guillemets au titre de l'article.)*

Contribution à un ouvrage collectif

Enrico Giusti, Images du continu, in *The Leibniz-Renaissance : International Workshop*, Firenze, 2-5 giugno 1986 (Florence : Olschki, 1989), 83-97.

Thèses inédites et manuscrits
Seguin Aîné, « Mémoire du pont de Tournon-Tain », ms. du 30 novembre 1822 (Arch. dép. de l'Ardèche, fonds Seguin, pièce 27).

Javier Echeverria, « La Caractéristique géométrique de Leibniz en 1679 », thèse de doctorat d'État (univ. Paris I, 1980).

Références bibliographiques complexes
Utiliser systématiquement les abréviations conventionnelles : sér. (série), t. (tome), vol. (volume), fasc. (fascicule), chap. (chapitre), p. (page), etc.
Leonhard Euler, *Leonhardi Euleri opera omnia* (Bâle-Boston-Stuttgart : Birkhäuser), sér. 2, vol. 24, part. II (1987), p. 37

Correspondance, manuscrits, périodiques, livres sont à adresser à la rédaction :
Revue d'histoire des sciences – CAPHÉS (UAR 3610, CNRS – ENS-PSL) – 45, rue d'Ulm – 75005 Paris – France. Tél. : +33(0)1 44 32 26 59. Email : contact-rhs@ens.fr

Les articles soumis à la Revue pour publication devront être présentés conformément aux normes décrites *supra*.
Tout article proposé pour publication à la *Revue d'histoire des sciences* est soumis à une procédure d'expertise en double aveugle. Après examen par le comité de rédaction, les auteurs recevront une réponse dans un délai de trois mois environ après réception du manuscrit. L'accord de publication pourra être assorti d'une demande de modifications sur le fond, la forme ou la présentation. Les articles acceptés seront publiés dans un délai variable selon les possibilités de la Revue. Les auteurs recevront un exemplaire papier du numéro de la revue et le tiré à part électronique de leur contribution.

LA *REVUE D'HISTOIRE DES SCIENCES* ET LES ARCHIVES OUVERTES
L'auteur peut à tout moment déposer dans des archives ouvertes institutionnelles la version *preprint* de sa contribution, à savoir la version du manuscrit avant son évaluation éditoriale. La version *postprint* de la contribution peut, quant à elle, y être archivée à l'issue d'une période de douze mois après la publication par la maison d'édition de la version PDF de l'article. La reproduction de l'article par fichier PDF de la maison d'édition dans des archives ouvertes est interdite. Les auteurs conservent le droit de reproduire ou de représenter cette version *postprint* dans le cadre de leurs activités, non commerciales, de recherche et/ou d'enseignement. Ils peuvent communiquer cette version lors de colloques, congrès et journées de formation auxquels ils participent. En cas de publication, ils doivent se rapprocher de l'éditeur pour obtenir son accord.

Tarifs d'abonnement 2025 TTC (offre valable jusqu'au 31 décembre 2025)

	France	Étranger (hors UE)
Particuliers	☐ 75 EUR	☐ 90 EUR
Institutions	☐ 140 EUR	☐ 180 EUR
Adhérents / Étudiants (sur justificatif)	☐ 55 EUR	☐ 55 EUR

Chaque abonnement donne droit à la livraison des 2 numéros annuels de la revue et à l'accès en ligne aux articles en texte intégral aux conditions prévues par l'accord de licence disponible sur le site www.revue.armand-colin.com.

Prix au fascicule : 45 EUR

Abonnement et vente au numéro de la *Revue d'histoire des sciences*
Dunond Éditeur, Revues Armand Colin – 11, rue Paul Bert – CS 30024 – 92247 Malakoff cedex
Tél. (indigo) : 0 820 800 500 – Étranger : +33 (0)1 41 23 60 00 – Fax : +33 (0)1 41 23 67 35
Mail : revues@armand-colin.com

Vente aux libraires
U. P. Diffusion / D. G. Sc. H. – 11, rue Paul Bert – CS 30024 – 92247 Malakoff cedex – Tél. 01 41 23 67 18 – Fax : 01 41 23 67 30