NOCTUA

La tradizione filosofica dall'antico al moderno

Rivista semestrale, Parma, E-theca OnLineOpenAccess Edizioni

Anno IV, nn. 1-2, 2017

Philosophy and Mathematics at the Turn of the 18th Century: New Perspectives

Philosophie et mathématiques au tournant du XVIIIe siècle: perspectives nouvelles

A cura di Marco Storni e Andrea Strazzoni

ISSN 2284-1180

NOCTUA

La tradizione filosofica dall'antico al moderno

Rivista semestrale, Parma, E-theca OnLineOpenAccess Edizioni

Anno IV, nn. 1-2, 2017

Philosophy and Mathematics at the Turn of the 18th Century: New Perspectives

Philosophie et mathématiques au tournant du XVIIIe siècle: perspectives nouvelles

A cura di Marco Storni, Andrea Strazzoni

Contenuti

ISSN 2284-1180

Indicizzato in DOAJ - Directory of Open Access Journals

Foreword

This publication is the result of a one-day bilingual workshop, held on September 30th, 2016, at the École Normale Supérieure of Paris. We are grateful to Professor Sophie Roux for supporting the initiative, and contributing to this issue with a thematic introduction. We also thank the École doctorale 540 for the financial support, and all the speakers and contributors to this volume for their effort.

Marco Storni

Andrea Strazzoni

Introduction

Sophie Roux

The essays gathered in this issue of the journal *Noctua* focus on the various relationships that were established between philosophy and mathematics from Galileo and Descartes to Kant, passing by Newton.[1] According to a grand narrative that never completely stopped to be told, Galileo and Descartes initiated a process of mathematization of physics that changed the course of the sciences.[2] Émile Meyerson, Edmund Husserl and Alexandre Koyré made this grand narrative emerge. Meyerson described Descartes, who identified matter and extension, as the «true legislator of the modern science».[3] Husserl claimed that Galileo was the first to substitute mathematical idealities for concrete things that were intuitively given and thus to open the path to an objective knowledge of the things of the world, while Descartes gave a metaphysical ground to this objectivity when he distinguished *res cogitans* from *res extensa*.[4] Introducing Husserlian themes in the history of science, Koyré argued that the mathematization of nature and of the natural sciences was central to the Scientific Revolution. According to Koyré, the two main heroes in this Revolution were Galileo, who introduced a first math-

1 These essays were first presented at the workshop *Philosophie et mathématiques au tournant du XVIII[e] siècle: perspectives nouvelles* organized by Marco Storni on 30 September 2016 at the École Normale Supérieure with a funding from ED 540.
2 In what follows, I take over some ideas already developed in Roux 2010(1), 319-337.
3 Meyerson 1995, 229. On Meyerson's conception of modern science, see Roux 2010(2), 91-114.
4 Husserl 1970, § 9, 23-59.

ematization of motion, and Descartes, who made explicit the metaphysical premises of this first mathematization.[5] With Galileo and especially Descartes, mathematics begun to constitute a standard of certitude by which other disciplines had to be assessed and to which they had to conform themselves as far as possible. Consequently, there were attempts to mathematize other disciplines than natural philosophy. In France, the eighteenth century witnessed the first attempts to mathematize the human and social sciences.[6] In Germany, it witnessed an enduring and memorable controversy on the question of whether philosophy could proceed *more geometrico*, as Christian Wolff pretended, or not, as Pierre-Louis Moreau de Maupertuis, Leonhard Euler and other Newtonians claimed.[7] Kant finally put an end to the dream of developing a philosophy *more geometrico* by stressing that definitions have neither the same place nor the same function in mathematics and in philosophy. It should be noted that Kant's works can also be read as an effort to give a metaphysical foundation to Newtonian physics.[8] And indeed, if we consider the history of physics in the eighteenth century, the unavoidable natural philosopher was Newton.

Grand narratives such as this one are never completely false, but they obviously need some qualifications. First, the mathematization of natural philosophy took more diverse forms than it is usually said and these different forms need to be explored more carefully than they have been until now. In 1667, exactly ten years before Spinoza's *Ethica ordine geometrico demonstrata*, Nicolas Steno published his *Elementorum myologiae specimen, seu, musculi*

---

5 For a presentation of Koyré's theses, see JORLAND 1981; on the influence that § 9 of the *Crisis* had on Koyré, see DE GANDT 2005, 97-103.

6 GRANGER 1989; RASHED 1956; FRÄNGSMYR, HEILBRON, RIDER 1990.

7 TONELLI 1959, 37-66.

8 FRIEDMAN 1992.

descriptio geometrica, in which he claimed to introduce in anatomy the mathematical way of proceeding that was successfully used in astronomy and optics. For Steno like for Spinoza, proceeding in a mathematical way meant in the first place following a synthetic order similar to the geometrical order, that is to begin with definitions, hypotheses and axioms and to deduce from them subsequent theorems. But, for Steno, proceeding in a mathematical way had another meaning still, that had no equivalent in Spinoza; it also meant giving a geometrical description of the muscles, especially representing the muscular fibers of muscles as parallelepipeds.[9] This second meaning involves geometrical figures like parallelepipeds, triangles and circles, even when they do not intervene as supports of mathematical demonstrations. Such a 'spatialization' appears in treatises exposing procedures of surveying, the art of cartography, the linear perspective in painting, etc. As Ange Pottin shows in his essay, *Mathématisme et tourbillons dans les* Principes de la philosophie *de Descartes*, Descartes was primarily concerned with that kind of mathematization. What Pottin calls 'mathematism' is Descartes's intention to proceed in physics thanks to principles that are also received in geometry, that is to explain all physical properties through spatial properties alone. Such an intention holds in particular for the notoriously false explanation of the motion of the planets through vortices.

That is not all though. There were obviously two other characteristics of geometry – which at the time was a synecdoche for mathematics in general – that were important if one wanted to extend its unrivalled certitude to physics. First, there was what we could call 'quantification', that is the opera-

9 ANDRAULT 2010, 505-536.

tion of capturing certain aspects of material things through numbers. Such a capture requires measurements, concrete apparatus and a growing concern for precise and standardized data, but also graphical techniques to present numerical results and intellectual techniques of approximation and averaging. Already in the early seventeenth century, there were attempts of quantification in domains that until then had been considered as the domain of humors and qualities. Sanctorius published in 1614 his *De Statica medicina*, in which he explained how he had built a special chair thanks to which, for more than thirty years, he weighted not only himself, but also everything he ingested and everything he excreted, in order to test Galen's assertion that respiration also occurs through the skin as 'insensible perspiration'. One century later, in the wake of Newton's *Principia mathematica philosophiae naturalis* (1687), quantification had significantly developed at the crossroads between experiments and mathematics. In his detailed paper, *'s Gravesande on the Application of Mathematics in Physics and Philosophy*, Jip van Besouw establishes among several other things that 's Gravesande's *Elementa physica*, which is usually considered as a popularization of Newtonian physics thanks to experiments, contains in fact more and more mathematics from one edition to another. Interestingly enough, 's Gravesande gave a reason for the privilege of mathematics: they deal with ideas of quantities that do not refer to anything real outside the mind (contrary to the ideas of physics) and that are the simplest among ideas (contrary to the ideas of metaphysics and theology).

Last, but not least, the new symbolic algebra raised a distinct hope with respect to mathematization. Insofar as algebra is a blind manipulation of signs, it was seen as eventually leading to a universal science that would be applicable to anything without taking into consideration the content of the matter at hand. In his essay, *Comment sortir du labyrinthe. Condillac critique de Spinoza, entre* mos geometricus *et langue des calculs*, Diego Donna shows that, despite Condillac's opposition to Spinoza's system, the presuppositions of his 'language of calculations' were not as different from Spinoza's presuppositions as he claimed them to be.

To sum up, the first qualification with respect to the grand narrative that I recalled to begin with is that, even if it is granted that mathematization was at the heart of seventeenth century natural philosophy, it remains to make explicit what is meant and implied by mathematization. I argued that the extension of mathematics to natural philosophy took different forms according to the characteristic of mathematics that was privileged. The famous *mos geometricus* did not only refer to the adoption of a deductive order, but also to three other ways of using mathematics, that I respectively dubbed spatialization, quantification and symbolization. Now, the second qualification that should be added to the narrative of the mathematization of the world picture concerns the relations that were established between mathematics and philosophy, or perhaps, as we will explain, metaphysics. According to this narrative, the dream to reach in philosophy a certitude similar to the certitude which is common in mathematics was never dismissed before Kant. But a closer inspection reveals that philosophers hold nuanced positions in that respect, whether philosophy and metaphysics are understood as theology, as moral philosophy, or as reasoning on essences.

Yannick Van den Abbeel and Marco Storni devote their essays to Maupertuis, who may appear as a go-between who first purveyed French people with Newtonian science and then purveyed German people with French philosophy. Both their essays are devoted to the publications Maupertuis made when, as a president of the Berlin's Academy, he turned from mathematics to more speculative matters. After studying the emergence of Maupertuis's Principle of Least Action from the beginning of the 1740s on, Van den Abbeel shows that the metaphysical and the mathematical aspects of this principle as exposed in *Les lois du mouvement et du repos, déduites d'un principe de métaphysique* (1746), far from overlapping, are in tension one with the other. Here philosophy refers to metaphysics and metaphysics in turn refers to theology, since the Principle of Least Action was supposed to be deduced from the attributes of God and to lead to the derivation of the main laws of nature. Thus, in his Berliner days, Maupertuis was not so much opposed to metaphysics in general than opposed to a metaphysics like the one of Newton, which pretended to infer the existence of God from the complexity of particular phenomena, whether the formation of animals or the paths of comets. Rather, for Maupertuis as for Malebranche, it was the simplicity and the generality of the laws of nature that were to be positively associated, as it were, to the existence of a wise and powerful Creator. In a similar way, Storni shows that, if Maupertuis condemned Wolff and more generally those who contented themselves with a superficial imitation of mathematical procedures, he nevertheless exposed in his *Essai de philosophie morale* (1749) an ethics founded on a calculation of quantitative goods and evils. In these circumstances, the question is to determine what Maupertuis could expect from this mathematization of ethics and why he distinguished it from those that he disdained. The difference is not so much metaphysical here – and, by 'metaphysics,' Storni refers to the ontology of mathematical objects – than epistemological.

Last, but not least, Elise Frketich tackles in an original way the famous opposition that Kant made between the mathematical and the philosophical methods. In *Wolff and Kant on Reasoning from Essences*, she argues that, while Wolff and Kant both thought that a particular geometrical figure can be used to prove a theorem concerning all the figures of the same species, Wolff's theory of essences led him to claim that the property of geometrical figures to represent universals holds for things in nature, which is precisely what Kant denied. Here, we are confronted to another meaning of 'metaphysics' still, according to which this word refers neither to claims concerning God nor to mathematical ontology, but rather to a modal doctrine of essences. Hence, the second qualification of the grand narrative I began with will be that our understanding of 'metaphysics' has to be diversified as well. For those who were called scholastics in the eighteenth century, general metaphysics was still the science of being as being, special metaphysics having for objects God and the souls of human beings.[10] But, at the end of an evolution in which Descartes and Malebranche had a decisive role, metaphysics was also characterized in the eighteenth century as a theory of knowledge, comprising both an examination of the ontological principles of knowledge and an inquiry about mind and language.[11] Between those two meanings, as we just saw, there was plenty of room for other meanings which make the interplay between philosophy and mathematics at the turn of the eighteenth century challenging to explore. This is what is done is the present issue.

SOPHIE ROUX

MATHESIS, RÉPUBLIQUE DES SAVOIRS

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE, PARIS

10 LOHR 1988, 537-638.
11 BARDOUT 1999, chap. I and II, and BARDOUT 2000, 139-164.

BIBLIOGRAPHY

ANDRAULT 2010 = RAPHAËLE ANDRAULT, «Mathématiser l'anatomie: la myologie de Niels Stensen (1667)», *Early Science and Medicine* 15 (2010), 505-536.

BARDOUT 1999 = JEAN-CHRISTOPHE BARDOUT, *Malebranche et la métaphysique*, Paris, Presses Universitaires de France.

BARDOUT 2000 = JEAN-CHRISTOPHE BARDOUT, «Metaphysics and Philosophy», in STEVEN NADLER (ed.), *The Cambridge Companion to Malebranche*, Cambridge, Cambridge University Press, 139-164.

DE GANDT 2005 = FRANÇOIS DE GANDT, *Husserl et Galilée. Sur la crise des sciences européennes*, Paris, Vrin.

FRÄNGSMYR, HEILBRON, RIDER 1990 = TORE FRÄNGSMYR, JOHN L. HEILBRON, ROBIN E. RIDER (eds.), *The Quantifiying Spirit in the Eighteenth Century*, Berkeley, University of California Press.

FRIEDMAN 1992 = MICHAEL FRIEDMAN, *Kant and the Exact Sciences*, Cambridge, Harvard University Press.

GRANGER 1989 = GILLES GASTON GRANGER, *La Mathématique sociale du Marquis de Condorcet*, Paris, Odile Jacob (1st ed. 1955).

HUSSERL 1970 = EDMUND HUSSERL, *The Crisis of European Sciences and Transcendental phenomenology: An Introduction to Phenomenological Philosophy*, Eng. tr. by DAVID CARR, Evanston, Northwestern University Press (*Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendentale Phänomenologie. Eine Einleitung in die phänomenologische Philosophie*, The Hague 1954)

JORLAND 1981 = GÉRARD JORLAND, *La science dans la philosophie. Les recherches épistémologiques d'Alexandre Koyré*, Paris, Gallimard.

LOHR 1988 = CHARLES H. LOHR, «Metaphysics», in CHARLES B. SCHMITT, QUENTIN SKINNER (eds.), *The Cambridge History of Renaissance Philosophy*, Cambridge, Cambridge University Press, 537-638.

MEYERSON 1995 = ÉMILE MEYERSON, *De l'explication dans les sciences*, Paris, Fayard (1st ed. 1921).

RASHED 1956 = ROSHDI RASHED, *Condorcet. Mathématique et société*, Paris, Hermann.

ROUX 2010(1) = SOPHIE ROUX, «Forms of Mathematization (14th-17th Centuries)», *Early Science and Medicine* 15 (2010), 319-337.

ROUX 2010(2) = SOPHIE ROUX, «Histoire de la science classique et historicité des sciences chez Meyerson», in EVA TELKES-KLEIN, ELHANAN YAKIR (eds.), *L'histoire et la philosophie des sciences à la lumière de l'œuvre d'Émile Meyerson (1859-1933)*, Paris, Honoré Champion, 91-114.

TONELLI 1959 = GIORGIO TONELLI, «Der Streit über die mathematische Methode in der Philosophie in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts und die Entstehung von Kants Schrift über die 'Deutlichkeit'», *Archiv für Philosophie* 9 (1959), 37-66.

STUDI

Mathématisme et tourbillons dans les *Principes de la Philosophie* de Descartes

Ange Pottin

Dans le dernier article de la Seconde Partie des *Principes de la Philosophie*, Descartes énonce : « Que je ne reçois point de principes en Physique, qui ne soient aussi reçus en mathématiques pures et abstraites, afin de pouvoir prouver par démonstration tout ce que j'en déduirai.[1] » Cette citation, et les déclarations similaires qu'on trouve dans l'œuvre de Descartes, a attiré l'attention de nombreux historiens des sciences, notamment de ceux qui étaient soucieux de décrire dans la première moitié du XVII^e^ siècle un moment de mathématisation de la nature[2]. Cependant, si l'on regarde ce sur quoi elle ouvre, et qu'on lit la Troisième Partie des *Principes*, on trouve un système du monde composé de tourbillons de matière inaccessible à nos sens, et surtout un système dépourvu de métrique précise, qui ne donne pas prise à une mathématisation. Au-delà de l'échec « scientifique » qu'on a pu dénoncer dans cette entreprise[3], l'historien se trouve face à un problème de cohérence. Ce

1 *Principes de la Philosophie* [PP], II.64 : AT IX, 101-102.

2 Le représentant le plus célèbre de cette tendance est, en France, Alexandre Koyré. Par « mathématisation de la nature », on peut comprendre la chose suivante : en amont de l'application de procédures mathématiques aux objets, il se déroule au XVII^e^ siècle un bouleversement touchant à la manière dont les scientifiques se représentent la nature elle-même : de cosmos organisé, elle devient espace homogène et isotrope, gouverné par les seules régularités du mouvement local.

3 La physique cartésienne a fait l'objet de très nombreuses critiques, dès la parution des premiers ouvrages de Descartes. Le reproche central est le suivant : les corpuscules par lesquels il explique le mouvement des corps étant insensibles, Descartes se permet de

Noctua, anno IV, n. 1-2, 2017, ISSN 2284-1180

problème trouve une expression frappante chez Burtt :

> Descartes est sur le point de faire les découvertes les plus importantes, mais il ne parvient pas à empêcher ses pensées de divaguer, et son incapacité à maintenir les intuitions excessivement riches qui furent les siennes les rendent stériles, à la fois pour ses propres réalisations, et pour celles de la science en général […] Au moment crucial ses pensées divaguent, et en conséquence la physique cartésienne a dû être supplantée par celle de la tradition représentée par Galilée et Newton.[4]

Cette citation illustre doublement ce que peut être une lecture non charitable. Du point de vue de l'histoire des sciences, au lieu de comprendre la théorie cartésienne dans ses propres termes, elle va la juger à l'aune d'autres projets scientifiques, ceux de Galilée et de Newton. Du point de vue de l'historien de la philosophie, elle laisse béante une incohérence, sans tenter de la résoudre. Elle dessine alors en creux le projet qui sera le nôtre, celui d'une lecture charitable de la physique cartésienne : c'est-à-dire, celui de faire valoir sa cohérence interne, du point de vue de l'acteur, et en l'analysant uniquement à l'aide des concepts qu'on trouve en son sein. Mais attention, une lecture charitable n'est pas une lecture qui tente à tout prix de sauver la cohérence de l'auteur ; il est tout à fait possible que des tensions viennent travailler *en interne* la théorie. Seulement ces tensions devront, elles aussi, être comprises selon les concepts qui y sont propres.

Nous avons choisi d'interroger plus précisément l'articulation entre cette déclaration et la théorie de tourbillons[5], car celle-ci fournit selon nous le

construire des hypothèses invérifiables. On verra plus loin comment il tente de répondre à ce genre de critique.

4 BURTT 1932, 109.

5 La théorie des tourbillons de Descartes a peu fait l'objet d'études approfondies. On peut néanmoins citer l'ouvrage de référence AITON 1972, qui retrace l'histoire de cette théorie et de ses reformulations, depuis Descartes jusqu'au milieu du XVII[e] siècle.

point d'articulation entre, d'une part, les principes généraux de la physique développés dans le livre II des *Principes*, et d'autre part l'explication des phénomènes qui fera l'objet des livres III et IV. Nous allons procéder en cinq moments : (i) nous définirons ce que nous entendons par le « mathématisme ontologique » cartésien ; (ii) nous verrons en quoi celui-ci fournit la *norme* de la physique des tourbillons ; (iii) nous verrons comment Descartes déduit, à partir de lui, le principe général des tourbillons ; (iv) nous interrogerons les limites de la « déduction », et finalement (v) nous verrons comment le mathématisme opère comme un outil de légitimation de la physique des tourbillons.

1. Le mathématisme ontologique cartésien

Pour commencer notre étude, il est nécessaire de lever une ambiguïté touchant au sens du mathématisme de Descartes. Pour ce faire, revenons au texte de II, 64, qui selon nous est celui qui fournit la formulation la plus complète de ce mathématisme :

> Que je ne reçois point de principes en Physique, qui ne soient aussi reçus en mathématiques, afin de prouver par démonstration tout ce que j'en déduirai ; et que ces principes suffisent, d'autant que tous les phénomènes de la nature peuvent être expliqués par leur moyen […] Car j'avoue franchement que je ne connais aucune autre matière des choses corporelles, que celle qui peut être divisée, figurée et mue en toutes sortes de façons, c'est-à-dire celle que les Géomètres nomment la quantité, et qu'ils prennent pour objet de leurs démonstrations [...] et enfin que, touchant cela, je ne veux rien recevoir pour vrai, sinon ce qui en sera déduit avec tant d'évidence, qu'il pourra tenir lieu de démonstration mathématique.[6]

6 PP, II.64 : AT IX, 101-102.

Disons-le d'emblée : le mathématisme cartésien – et c'est là l'erreur *princeps* de Burtt – n'est pas un appel à la mathématisation[7]. Les principes dont il parle ici ne sont pas des « principes mathématiques » qu'il s'agirait d'appliquer à la physique, mais des principes « *aussi reçus* en mathématiques », c'est-à-dire les principes communs aux deux disciplines différentes que sont la physique et les mathématiques. Ces principes communs sont ceux qui sont élaborés dans la Seconde Partie, et non des axiomes mathématiques exogènes qu'il s'agirait d'incorporer dans la théorie. Si mathématiques et physique peuvent obéir aux mêmes principes, c'est parce qu'ils partagent un même *objet* : à savoir « celui que les Géomètres nomment la Quantité, et qu'ils prennent pour objet de leurs démonstrations ». Le cœur du mathématisme cartésien est donc la théorie de l'extension comme essence de la substance. Comme Descartes nous l'apprend en II, 4, l'essence des choses corporelles réside dans cela, et dans cela seul qu'elles sont étendues en longueur, largeur et profondeur. Autrement dit, l'essence des corps est justement ce qu'ils ont en commun avec les objets de la géométrie, et que II, 64 désigne sous le nom de « quantité »[8].

2. Le mathématisme, norme de la physique des tourbillons

Mais II, 64 ne fait pas que rappeler une thèse ontologique : il sert avant tout à poser la norme de la théorie physique. C'est ce qui transparaît dans l'utilisation répétée des tournures négatives. Ce que nous dit Descartes, c'est qu'il *ne faut* accepter en physique *que* les principes qui se rapportent à ce que les corps ont en commun avec les entités géométriques, à savoir l'extension et ses

7 Plus récemment, Kobayashi 1993 a commis une erreur d'interprétation similaire.
8 Pour un argument similaire, voir Fichant 1996, De Buzon 2013 et Ariew 2016.

modes. Cette norme vise donc avant tout à bannir hors de la physique les principes d'explication qui feraient appel à d'autres qualités, telles que la chaleur, l'humidité ou la pesanteur. La raison en est notamment que, de ces qualités, nous ne disposons pas d'idée claire et distincte ; les seules idées claires et distinctes que nous ayons des corps sont celles qui se rapportent à l'extension et à ses modes. Le premier adversaire visé ici est bien entendu la physique aristotélicienne, qui entreprend d'expliquer les phénomènes par de nombreuses qualités considérées comme inhérentes aux êtres naturels. Par ailleurs, Descartes insiste, le bannissement de ces autres principes d'explication n'est pas un problème, car ses principes à lui suffisent à expliquer « tous les phénomènes de la nature » : ce que les Parties III et IV s'atteleront à tenter de prouver par le fait. Il est intéressant de rapporter ce texte de II, 64 à un autre article, qui se situe à la fin des *Principes de la Philosophie*, et qui exprime bien cette dimension normative du mathématisme :

> J'ai, premièrement, considéré en général toutes les notions claires et distinctes qui peuvent être en notre entendement touchant les choses matérielles, et que, n'en ayant point trouvé d'autres sinon celles que nous avons des figures, des grandeurs et des mouvements, et des règles suivant lesquelles ces trois choses peuvent être diversifiées l'une par l'autre, lesquelles règles sont les principes de la Géométrie et des Méchaniques, j'ai jugé qu'il fallait nécessairement que toute la connaissance que les hommes peuvent avoir de la nature fut tirée de cela seul ; pource que toutes les autres notions que nous avons des choses sensibles, étant confuses et obscures, ne peuvent servir à nous donner la connaissance d'aucune chose hors de nous, mais plutôt la peuvent empêcher.[9]

On voit alors apparaître un premier sens selon lequel la physique des tourbillons est cohérente avec le mathématisme. En effet, cette théorie permet

9 PP, IV.203 : AT IX, 321. Ce texte est en grande partie rajouté dans la version française de 1647.

d'expliquer non seulement le mouvement des corps célestes, mais encore le phénomène de la chute des corps, en ne faisant appel qu'à des corpuscules matériels en mouvement, dépouillés de toute autre qualité. Notamment, ils permettent de se débarrasser de la qualité de pesanteur, comprise comme une tendance inhérente aux corps lourds à rejoindre le centre de la Terre. En ce sens, il nous semble que les arguments avancés par les cartésiens du XVIII[e] siècle contre leurs adversaires newtoniens reprennent à leur compte la norme mathématiste, au sens qu'elle prend chez Descartes. En effet, en dénonçant dans l'attraction une « qualité occulte », ils restent fidèles à l'idée qu'il ne faut expliquer les phénomènes que par des qualités qu'ils ont en commun avec les objets mathématiques.

3. Comment le mathématisme cartésien implique les tourbillons

Mais on peut suivre encore plus loin l'impératif de charité qui nous pousse à trouver de la cohérence chez Descartes. La consistance mathématisme-tourbillons n'est pas seulement négative ; il y a bien un sens selon lequel les tourbillons sont positivement impliqués par le mathématisme ontologique cartésien ; c'est-à-dire, pour reprendre les termes de l'auteur, selon lequel ils en sont « déduits ». Cette « déduction » s'opère en deux temps. Dans un premier temps, qui fera l'objet de cette section, Descartes va de la théorie de la substance étendue au *principe général des anneaux*. C'est ce qui se passe dans la Seconde Partie des *Principes*. Dans un second temps, Descartes déduit, à partir d'une hypothèse touchant à la genèse du monde visible, le *système cosmologique des tourbillons* ; ce qu'on verra dans la section suivante, en portant attention au fait que l'introduction de cette hypothèse vient inquiéter la « déduction » cartésienne.

Commençons par le principe général. On l'a vu, le sens véritable du mathématisme cartésien réside dans l'idée que l'extension géométrique constitue l'essence des corps physiques ; or c'est de cette idée qu'on arrivera au principe des tourbillons, selon un cheminement que nous allons désormais restituer. L'article 8 établit que « la grandeur ne diffère de ce qui est grand […] que par notre pensée » : en d'autres termes, la grandeur a toujours un référent substantiel. Ce qui implique, pour le dire en une formule, s'il y a étendue, il y a substance. Cela amène à Descartes à nier l'existence du vide. Voici en effet comment se présente l'argument dans l'article 16 :

> Comme, de cela seul qu'un corps est étendue en longueur, largeur et profondeur, nous avons raison de conclure qu'il est une substance, à cause que nous concevons qu'il n'est pas possible que ce qui n'est rien ait de l'extension, nous devons conclure de même de l'espace qu'on suppose vide : à savoir, que, puisqu'il y a en lui de l'extension, il y a nécessairement aussi de la substance.[10]

On arrive alors de la théorie de la substance à une caractérisation du monde de la physique cartésienne, en II, 22 : « la matière, dont la nature consiste en cela seul qu'elle est une chose étendue, occupe maintenant tous les espaces imaginables où ces mondes [*i.e.* d'hypothétiques autres mondes] pourraient être ».

Mais comment expliquer, alors qu'une seule étendue sature le monde, le fait que nous percevions plusieurs corps ? C'est le mouvement qui va, chez Descartes, être un opérateur de différenciation des corps, comme cela est impliqué dans sa définition même : il est le transport d'une partie de matière du voisinage d'un corps à celui d'un autre, et le corps est ce qui est mû ensemble. Mais on se trouve alors face à un autre problème : comment le

10 PP, II.16 : AT IX, 69-70.

mouvement est-il possible dans un monde entièrement saturé par la substance étendue ? En effet, dans un tel monde, chaque corps est, comme dans un puzzle, parfaitement collé à ceux qui lui sont adjacents ; or nous voyons bien que, dans les puzzles, il n'y a pas beaucoup de mouvement. C'est précisément là qu'intervient le principe des anneaux :

> Après ce qui a été démontré ci-dessus, à savoir, que tous les lieux sont pleins de corps, et que chaque partie de la matière est tellement proportionnée à la grandeur du lieu qu'elle occupe, qu'il n'est pas possible qu'elle en remplisse un plus grand ni qu'elle se resserre en un moindre, ni qu'aucun autre corps y trouve place pendant qu'elle y est, nous devons conclure qu'il faut nécessairement qu'il y ait toujours un cercle de matière ou anneau de corps qui se meuvent ensemble en même temps ; en sorte que, quand un corps quitte sa place à quelqu'autre qui le chasse, il entre en celle d'un autre, et cet autre dans celle d'un autre, et ainsi de suite jusques au dernier, qui occupe au même instant le lieu délaissé par le premier.[11]

On voit donc apparaître une seconde manière de nouer ensemble mathématisme et tourbillons : le mathématisme cartésien implique que, partout où il y a grandeur, il y a corps, et donc l'impossibilité du vide ; les tourbillons vont être le principe général qui permettra au mouvement d'avoir lieu dans le plein.

4. Le système cosmologique des tourbillons et les limites de la « déduction »

Mais l'histoire ne s'arrête pas là : comme nous l'avons indiqué, il y a un deuxième moment de la « déduction », qui nous fait passer du principe général au système cosmologique qui permettra l'explication des phénomènes.

11 PP, II.33 : AT IX, 81.

Afin de comprendre ce qu'il faut entendre ici par « déduction », rappelons que l'ambition de Descartes sera de tirer, des seuls principes qu'il a exposés dans la Seconde Partie, l'explication de « tous les phénomènes de la nature ». C'est ce qui est rappelé dans le premier article de la Troisième Partie : « il faut maintenant essayer si nous pourrons déduire de ces seuls principes l'explication de tous les Phénomènes, c'est-à-dire les effets qui sont en la nature[12] ». Or cette déduction est capitale, en ce qu'elle préside à la qualité épistémique de la théorie. L'idée de Descartes est que, en déduisant la physique de principes aussi reçus en mathématiques, on obtiendra une philosophie naturelle *aussi certaine* que les mathématiques. C'est l'idée qui apparaît en II, 64, quand il entendait proposer une théorie qui puisse « tenir lieu de démonstration mathématique ». C'est ce que je désignerais comme le « mathématisme épistémique », seconde composante du mathématisme cartésien. En d'autres termes, il permet à la déduction de valoir comme *démonstration.*

Or qu'en est-il de cette déduction dans la Troisième Partie des *Principes* ? Elle va être perturbée par le fait que Descartes introduit, pour mettre en place son système cosmologique, une hypothèse de taille : celle d'une genèse de l'univers à partir d'un premier état d'indifférenciation de la matière, état à partir duquel il va progressivement s'organiser en système tourbillonnaire. Certes, on peut avancer qu'il s'agit là uniquement d'une fiction heuristique, à visée strictement pédagogique ; et que, par ailleurs, elle est introduite comme une hypothèse afin de ne pas s'opposer explicitement au dogme chrétien. Cependant, il semble bien qu'il faille prendre cette hypothèse comme telle, car voici ce que Descartes écrit en III, 45 :

12 PP, III.1 : AT IX, 103.

> Nous n'avons pu déterminer en même façon combien sont grandes les parties auxquelles cette matière est divisée, ni quelle est la vitesse dont elles se meuvent, ni quels cercles elles décrivent. Car ces choses ayant pu être ordonnées par Dieu en une infinité de diverses façons, c'est par la seule expérience, et non par la force du raisonnement, qu'on peut savoir laquelle de toutes ces façons il a choisie. C'est pourquoi il nous est maintenant libre de supposer celle que nous voudrons, pourvu que toutes les choses qui en seront déduites s'accordent entièrement avec l'expérience.[13]

Ces précautions étant prises, voici comment Descartes va déduire le système cosmologique des tourbillons en III, 46, en trois temps que nous avons indiqué par des lettres :

> [A] Nous avons remarqué ci-dessus, que tous les corps qui composent l'univers, sont faits d'une même matière, qui est divisible en toutes sortes de parties, et déjà divisée en plusieurs qui sont mues différemment, et dont les mouvements sont en quelque façon circulaires; et qu'il y a toujours une égale quantité de ces mouvements dans le monde : [...] [B] Supposons […] que Dieu a divisé au commencement toute la matière dont il a composé ce monde visible, en des parties aussi égales entre elles qu'elles ont pu être, et dont la grandeur était médiocre, c'est-à-dire moyenne entre toutes les diverses grandeurs de celles qui composent maintenant les Cieux et les Astres ; et enfin, qu'il a fait qu'elles ont toutes commencé à se mouvoir d'égale force en deux diverses façons, à savoir chacune à part autour de son propre centre, au moyen de quoi elles ont composé un corps liquide, tel que je juge être le ciel ; [C] et avec cela, plusieurs ensemble autour de quelques centres [...]. Ainsi, par exemple, on peut penser que Dieu a divisé toute la matière qui est dans l'espace AEI en un très grand nombre de petites parties, qu'il a mues non seulement chacune autour de son centre, mais aussi toutes ensemble autour du centre S, et tout de même qu'il a mû toutes les parties de la matière qui est en l'espace AEV autour du centre F, et ainsi des autres; en sorte qu'elles ont composé autant de différents tourbillons (je me servirai dorénavant de ce mot pour signifier toute la matière qui tourne ainsi en rond autour de chacun de ces centres) qu'il y a maintenant d'astres dans le monde.[14]

En [A], Descartes rappelle les principes généraux qu'il a exposés dans la Se-

13 PP, III.46 : AT IX, 124.
14 PP, III.46 : AT IX, 125.

conde Partie ; en [B], il introduit l'hypothèse qui sert de conditions initiales à la *genèse causale* qui lui permet, en [C], de mettre en place le mécanisme général des tourbillons.

Seulement, l'introduction en [B] de l'hypothèse vient changer le sens de la « déduction » cartésienne, en ce qu'elle constitue un principe auxiliaire qui ne saurait être totalement obtenu à partir des principes communs à la physique et aux mathématiques exposés dans la Seconde Partie. On rejoint ici un problème général de la physique cartésienne touchant aux notions de déduction et de démonstration, qui fut remarqué notamment par Desmond M. Clarke. Les explications sont bien dans un sens « déduites » des principes généraux de la physique, si on comprend par là qu'elles y sont *conformes* ; néanmoins, elles ne sont presque jamais *impliquées* par eux. En effet, les principes généraux ne fournissent pas les causes prochaines par lesquelles Descartes pourra expliquer tel ou tel phénomène particulier. Cela nécessite d'introduire, entre les principes et les phénomènes, des hypothèses auxiliaires[15], fonctionnant sur un mode irréductiblement hypothético-déductif. C'est le cas ici pour l'hypothèse touchant la genèse du monde.

Cette remarque nous oblige à tempérer notre charitarisme radical ; comme nous l'avons dit en introduction, être charitable envers un auteur, ce n'est pas sauver à tout prix la cohérence en montrant comment chacun de ses propos peut être pris à la lettre. Quand Descartes prétend avoir « déduit » tous les phénomènes de principes communs aux mathématiques et à la physique, cette déclaration pose un problème irréductible. Cela nous amène à tempérer l'enthousiasme d'un Frédéric de Buzon, pour qui Descartes aurait effectivement opéré une forme d'inclusion complète du physique dans le

15 Sur le rôle des hypothèses dans la physique cartésienne, voir également GARBER 2000.

mathématique, et pourrait « affirmer la suffisance de la *mathesis* abstraite dans le domaine de la physique et du phénoménal »[16], et que « tous les phénomènes s'expliquent par les principes de la *mathesis* »[17]. Une autre voie interprétative serait, au contraire, d'offrir aux théories physiques des parties III et IV une autonomie au moins partielle : elles dépendent en effet d'une épistémologie qui leur est propre, concernant l'usage des hypothèses, des reconstructions causales, des analogies machinistes, etc.[18] Mais le fait reste que les déclarations de Descartes concernant la continuité déductive de son édifice théorique ne résistent pas à l'examen.

5. Le mathématisme, outil de légitimation ambigu de la physique corpusculaire

Une fois cette tension mise au jour, on voit apparaître un nouvel usage du mathématisme, et avec lui une autre manière de comprendre le lien entre le mathématisme et la cosmologie des tourbillons. Le mathématisme se trouve en fait convoqué au moment même où Descartes s'apprête à introduire l'hypothèse de III, 46 :

> Et certes, si les principes dont je me sers sont très évidents, si les conséquences que j'en tire sont *fondées sur l'évidence des mathématiques*, et si ce que j'en déduis de la sorte s'accorde exactement avec toutes les expériences, il me semblait que ce serait faire injure à Dieu, de croire que les causes des effets qui sont en la nature, et que nous avons ainsi trouvées, sont fausses.[19]

16De Buzon 2013, 136.
17*Ibid*, 145.
18Cette voie, qui a notamment été développée par Delphine Bellis (Bellis 2010), a notamment pour avantage de rendre visible le domaine autonome constitué par la physique cartésienne.
19PP, III.43 : AT IX, 123.

On voit ici que le mathématisme est convoqué comme une arme de défense, dans le but de convaincre le lecteur de la vérité de raisonnements hypothétiques. On peut remarquer que la formule « fondées sur l'évidence des mathématiques » est assez ambiguë, et pourrait subrepticement nous faire passer de l'idée que physique et mathématiques se ramènent à des principes communs, à celle que la physique se trouve fondée dans les mathématiques elles-mêmes. D'une manière tout à fait comparable, on passe, dans un derniers articles du livre, l'idée que les explications physiques peuvent tenir lieu de démonstrations mathématiques, car fondées sur les mêmes notions évidentes, à celle que les théories avancées ont été « prouvées par démonstration mathématique », glissant ainsi d'un régime de la comparaison à un régime de l'identification. Il s'agit de l'article 206 de Quatrième Partie. L'article 205 avait admis que les choses qu'il a expliquées « semblent au moins moralement certaines », c'est-à-dire simplement probables ; il s'attelle ici à montrer qu'elles sont « plus que moralement certaines », et voici comment il argumente :

> [Cette certitude] est fondée sur un principe de Métaphysique très assuré, qui est [celui de la véracité divine]. [...]. Puis ensuite elle s'étend à toutes les choses qui peuvent être démontrées, touchant ces corps, *par les principes de la Mathématique* ou par d'autres aussi évidents et certains ; au nombre desquels il me semble que ceux que j'ai écrits dans ce traité doivent être reçus, au moins les plus principaux et les plus généraux. Et j'espère qu'ils le seront en effet pour ceux qui les auront examinés en telle sorte, qu'ils verront clairement toute la suite de déductions que j'ai faites, et combien sont évidents tous les principes dont je me suis servi ; [...] tout ce qu'on peut dire que j'ai supposé, et qui se trouve dans l'article 46 de la troisième partie, peut être réduit à cela seul que les cieux sont fluides. En sorte que ce seul point étant reconnu pour suffisamment démontré par tous les effets de la lumière, et par la suite de toutes les autres choses que j'ai expliquées, je pense qu'on doit aussi reconnaître que j'ai *prouvé par démonstration Mathématique toutes les choses que j'ai écrites,* au moins les plus générales qui concernent la fabrique du ciel et de la terre, et en la façon que je les ai écrites : car j'ai eu soin de proposer comme douteuses toutes celles que j'ai pensé l'être.[20]

20 PP, IV.206 : AT IX, 324-325.

Cet article admirable nous fait voir un Descartes en difficulté, qui convoque toute la panoplie métaphysique et épistémique disponible pour assurer de la certitude de sa théorie. On retrouve par ailleurs l'ambiguïté que nous avions remarqué dans l'article III, 43, quand il déclare avoir démontré ses théories « par les principes de la Mathématique ».

Cette ambiguïté entre les deux sens du mathématisme travaille la philosophie naturelle cartésienne, et affleure de la manière la plus forte justement dans les moments où Descartes doit se défendre de présenter de pures hypothèses gratuites. L'exemple le plus frappant se trouve dans une lettre à Froidmont de 1637 : pour défendre contre le savant aristotélicien la validité de sa météorologie mécaniste, Descartes lui demande de considérer que les « principes ou prémisses desquels je déduis ces conclusions ne sont autres que les axiomes sur lesquels les géomètres fondent leurs démonstrations » ! Or cela n'est évidemment pas le cas dans les principes ou, nous l'avons vu, les théories sont « fondées » sur la théorie de la substance étendue et de ses modes.

Conclusion

En nous concentrant sur l'articulation dans les *Principes de la Philosophie* entre le mathématisme et la théorie des tourbillons, nous espérons avoir obtenu un double résultat. D'une part, cela nous aura permis de mettre en lumière la triple dimension du mathématisme philosophique : comme norme de la physique mécaniste, il disqualifie les principes d'explication ne se rapportant pas exclusivement à l'extension et à ses modes ; comme théorie de la matière, il les implique en partie, les anneaux étant pensés par Descartes comme le seul mouvement permettant de rendre compte de la possibilité du mouvement dans un monde plein ; et enfin, il sert comme outil de légitimation de la théorie, Descartes se sentant autorisé à avancer que, ayant été « déduite » des mêmes principes, sa physique est aussi certaine que les mathématiques. D'autre part, cela nous permet d'éclairer le projet scientifique cartésien dans sa cohérence globale et dans ses tensions internes. Cela aura eu pour effet de déplacer l'incohérence qui avait frappé certains commentateurs, pour en identifier le lieu effectif. Il n'y a pas de contradiction à ce que Descartes avance sa théorie des tourbillons comme étant fidèle à des principes « *aussi reçus en mathématiques* » ; néanmoins, il est bien plus problématique d'affirmer que la première aura été exclusivement déduite de ces derniers, la physique cartésienne conservant, malgré les dires de son auteur, une dimension irréductiblement hypothétique.

ANGE POTTIN
ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE, PARIS

BIBLIOGRAPHIE

AITON 1972 = ERIC JOHN AITON, *The vortex theory of planetary motions*, London, Macdonald.

ARIEW 2016 = ROGER ARIEW, « The Mathematization of Nature in Descartes and the First Cartesians », dans GEOFFREY GORHAM, EDWARD SLOWIK, C. KENNETH WATERS (éds.), *The Language of Nature : Reassessing the Mathematization of Science*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 112-133.

AT = RENÉ DESCARTES, *Œuvres*, 12 tomes, éd. par CHARLES ADAM, PAUL TANNERY, Paris, Cerf 1897-1913.

BELLIS 2010 = DELPHINE BELLIS, *Le visible et l'invisible dans la pensée cartésienne : figuration, imagination et vision dans la philosophie naturelle de Descartes*, thèse soutenue à l'université Paris Sorbonne.

BURTT 1932 = EDWIN A. BURTT, *Metaphysical foundations of modern physical science : a historical and critical essay*, Londres, Routledge and Kegan Paul.

DE BUZON 2013 = FRÉDÉRIC DE BUZON, *La science cartésienne et son objet :* Mathesis *et phénomène*, Paris, Honoré Champion.

CLARKE 1982 = DESMOND M. CLARKE, *Descartes' Philosophy of Science*, University Park, Pennsylvania State University Press.

FICHANT 1998 = MICHEL FICHANT, *Science et Métaphysique dans Descartes et Leibniz*, Paris, Presses Universitaires de France.

GARBER 1992 = DANIEL GARBER, *Descartes' Metaphysical Physics*, Chicago, University of Chicago Press.

GARBER 2000 = DANIEL GARBER, *Descartes Embodied : Reading Cartesian Philosophy through Cartesian Science*, Cambridge, Cambridge University Press.

KOBAYASHI 1993 = MICHIO KOBAYASHI, *La Philosophie Naturelle de Descartes*, Paris, Vrin.

’s Gravesande on the application of mathematics in physics and philosophy

Jip van Besouw

1. Introduction

One of the most important books in the emergence of ‘Newtonian physics’ in the eighteenth century was the *Physices elementa mathematica, experimentis confirmata; sive introductio ad philosophiam Newtonianam*. The first edition of this book was published in 1719; revised, updated, and widely popular versions of it would appear in 1725 and 1742.[1] The last of these was published shortly after the death of its author, the Dutch philosopher, physicist, and mathematician Willem Jacob ’s Gravesande (1688-1742). As the title of the book indicates and subsequent statements by ’s Gravesande confirm, he himself considered the book to be about ‘mathematical physics’ and to follow Isaac Newton’s methodology. This became very clear for instance from the preface ’s Gravesande added to the second edition of his book, where he discussed how he disagreed with Newton on the measure of force but not on the way of doing their business:

> Although I have moved away from the Newtonian opinion in many things […] I have never doubted in any way to still maintain the title an *Introduction to Newtonian Philosophy*, and to give this title to the second edition of this book it-

1 See De Pater 1988, 152 for a list of editions; the book, its abbreviated versions, and their various translations together went through more than 20 print runs in the eighteenth century.

> self. […] He who reasons only from the phenomena in physics, having rejected all feigned hypotheses, and, as much as he is able, follows this method chastely, tries to follow in those footsteps of Newton and rightly professes to follow the Newtonian philosophy; not on the contrary he who vows to the words of the master.[2]

As Steffen Ducheyne has shown in a study published in 2014, historians as yet have not sufficiently questioned to what extent ’s Gravesande was justifiably claiming to follow the methodology set out by Isaac Newton. In this article I will expand on the work done by Ducheyne, who in the same study has explored some components of the methodology of ’s Gravesande’s physics, focusing especially on the question whether ’s Gravesande had taken over certain elements particular to Newton’s methodology. Ducheyne has shown that, with respect to most of these issues, this was not the case and has claimed that ’s Gravesande «was selective in his endorsement of Newton’s epistemology» and that «his methodological ideas were quite different from and occasionally even incongruent with Newton’s views on the matter».[3]

2 ’S GRAVESANDE 1725(1), second and third of the unnumbered pages of the *Monitum de hac Secunde Editione*: «Quamvis in multis […] a NEWTONIANA recesserim sententia, non tamen titulum *Introductionis ad Philosophiam* Newtonianam servare, & huic secundae editioni ipsum inscribere, ullo modo dubitavi. […] Qui tantum ex Phaenomenis, omni ficta rejecta hypothesi, in Physices ratiocinantur, &, quantum in ipso est, caste hanc methodum sequitur, ille NEWTONI vestigiis insistere conatur, & merito NEWTONIANAM se sectari Philosophiam profitetur; non autem ille, qui in verba jurat magistri». I am grateful to Urte Brauckmann of the Library of the Max Planck Institute for the History of Science for sending me a digital copy of this particular edition of ’s Gravesande’s book. Throughout, translations are mine, unless indicated otherwise.

3 DUCHEYNE 2014(1), 47 and DUCHEYNE 2014(2), 112 respectively. DUCHEYNE 2014(2), 97-98 contains references to literature that considers ’s Gravesande as a follower of Newton’s methodology. Many of ’s Gravesande’s own statements of his adherence to Newton’s methods can be found in *ibid.*, 100-104. Qua methodology, Ducheyne has mostly focused on Newton’s use of the *regulae philosophandi*, his quest in the *Principia* for mathematical relations that are both necessary and sufficient, and the use Newton made of successive approximations in that same book. Ducheyne’s conclusion is that «none of these salient features of Newton’s methodology and physico-mathematics were emphasized by ‘s Gravesande in his *Physices elementa*», see DUCHEYNE 2014(2), 104.

As becomes clear from both Ducheyne's work and that of previous historians who have summarized 's Gravesande's assertions on these matters, 's Gravesande's statements on what he himself called the Newtonian methodology did not amount to a full-fledged methodological programme. Instead, what the literature tells us is that 's Gravesande was mostly concerned with stressing the need for a combination of experimental and mathematical methods, a combination which he claimed no one before Newton had actually followed or had even proposed as the method to be followed.[4] Although this shows that 's Gravesande was without a doubt inspired by Newton's natural philosophy, this minimalistic description does not tell us much about the way 's Gravesande performed his own 'physics'.[5]

Consequently, the situation at present is that we know that 's Gravesande cannot simply be described as a 'methodological Newtonian' but that we do not have an alternative to replace this view with. Given 's Gravesande's pivotal role in eighteenth-century physics, this situation is of course unsatisfactory. It is a well-known fact that the status, contents, and relations between the so-called fields of natural philosophy, physics, and the mathematical sciences underwent significant changes in the eighteenth century.[6] Since 's Gravesande was one of the most widely read contemporary authors in the amalgam of these fields, it is of great interest to understand how 's

4 As is indicated by for instance RUESTOW 1973, 121; DE PATER 1994, 262; DE PATER, 1995, 222; SCHUURMAN 2004, 141-142; SCHLIESSER 2011; 115, 119; JORINK, ZUIDERVAART 2012, 34-35; see 'S GRAVESANDE 1723, last page of the unnumbered preface «ad lectorem», for the claim that Newton was the first to propose this method of reasoning from the phenomena while rejecting hypotheses.

5 Besides Ducheyne, only MAAS 2012 has recently tried to point out particular characteristics of 's Gravesande's physics other than his alleged Newtonianism. Maas has discussed in particular 's Gravesande's attempts to limit human interference and individual imagination, see MAAS 2012, 117, 131-132.

6 For a recent discussion of these disciplinary changes, see HEILBRON 2011.

Gravesande aimed to contribute to them and what he took these fields to be about. Yet, as becomes clear from Ducheyne's conclusions, we cannot simply assume that what ’s Gravesande himself claimed to do connects unproblematically to what he did in reality. Studying his epistemology, methodology, and the relations between the two both in precept and in practice is therefore particularly useful to discussions of what eighteenth-century physics consisted of.

In this article, I will make a modest contribution to a more productive understanding of these issues by focusing on one particular part of ’s Gravesande's methodology, namely the application of mathematics in philosophy and physics. As becomes already clear from the title of ’s Gravesande's book, he considered mathematics to be central to physics. As we will see throughout, ’s Gravesande also repeatedly stressed the importance of what he called mathematical methods and mathematical evidence to philosophizing in general, in particular with respect to finding certain knowledge. This, together with the fact that mathematics was of key importance in Newton's natural philosophy, turns the question of whether and how ’s Gravesande actually applied mathematics in his own scholarly work into one of particular relevance.

So far, little has been written on this account: Ducheyne's study confirms that ’s Gravesande considered mathematics central to physics, but Ducheyne, following his remark that ’s Gravesande did not «go into the details on […] how mathematics and experimentation are to be integrated exactly», has not elaborated much on how ’s Gravesande would go about this in practice.[7] John L. Heilbron, on the other hand, has recently even claimed,

7 Ducheyne 2014(2), 102.

without providing much evidence, that 's Gravesande's books, «[d]espite their titles, […] contain very little mathematics».[8] Even if this were indeed the case and there were a serious tension between what 's Gravesande said and what he did, the question why he stressed the role of mathematics would still remain of substantial importance.

The only study that has treated the role of mathematics in 's Gravesande's work to some length is the dissertation of Giambattista Gori published in 1972, *La fondazione dell'esperienza in 's Gravesande*. Unfortunately, recent scholarship has not paid sufficient attention to Gori's work; language issues are at least partly to blame for this. Interestingly enough, Gori has pointed out that there is an apparent leap in 's Gravesande's work. In the latter's more philosophical works, mathematics had according to Gori a «generic task» whereas in 's Gravesande's physics, mathematics played the more obvious role of demonstrating relations quantitatively.[9] Gori has argued that we need to «find a unitary answer to the problem of mathematics in 's Gravesande» in order to close the gap between 's Gravesande's philosophical reflections and his scientific content.[10] Although Gori has softened this tension by pointing out that mathematics played a subsidiary role in physics as well—as a true experimentalist, 's Gravesande had strong doubts about finding direct correlations between mathematics and reality—Gori has not really provided

8 HEILBRON 2011, 176. Heilbron extends this claim to 's Gravesande's younger colleague and eventual successor Petrus van Musschenbroek; a comparison between Van Musschenbroek and 's Gravesande on this point might be of great interest but falls outside the scope of this article. See also VANPAEMEL 2003, 210: «'s Gravesande […] gradually made the mathematical proofs disappear in the successive editions of his *Physices elementa mathematica*». Quite the opposite is true, as will become abundantly clear in the next sections: mathematical proofs multiplied in successive editions of the book.

9 GORI 1972, 178-203, in particular 190-192.

10 *Ibid.*, 192. «Tuttavia rimane l'esigenza di trovare una risposta unitaria al problema della matematica in 'sGravesande».

the unitary answer he was looking for himself.[11] Here, instead, I will show that we can narrow the gap between the two different applications of mathematics in ’s Gravesande by regarding both from a methodological perspective.

In what follows, I will explore these different uses of mathematics in the philosophy and physics of ’s Gravesande in detail. A preliminary section summarizes his more programmatic utterances about the methodological use of mathematics. After that, I first address ’s Gravesande’s applications of these methodological statements in the actual practice of his physics; in doing so, I challenge Heilbron’s conclusion about the importance of mathematics in ’s Gravesande’s *Physices elementa mathematica*. The last section of this article explicates how ’s Gravesande’s application of mathematics to philosophy in general was part of one overarching epistemological goal, namely that of finding certain and true knowledge in physics as well as in other scholarly disciplines. As such, this article provides us with a more articulated view on what ’s Gravesande regarded as the subject of *physica* and the proper aims and practices of this discipline.

2. ’s Gravesande on the applications of mathematics

The claim that the study of mathematics was of great use to philosophers can be found consistently throughout ’s Gravesande public lectures, the prefaces of his books, and the methodological chapters of those books. He provided two main arguments for this usefulness. As we will see, the first

11 *Ibid.*, 196-203. Gori does not explicitly come back to the question of mathematics in the section in which he raises it, and neither does he return to the role of mathematics afterwards.

was that knowledge of mathematics was a necessity for philosophers who wanted to do physics. Besides that, according to ’s Gravesande, mathematics was particularly useful for learning «the art of reasoning». Mathematics was the quintessential example of a field that could teach us the logic and rigour needed in order to find true propositions, he claimed in an oration held at Leiden University in 1734:

> It remains for me to say a few things about mathematics […] Not only is it the key to physics, and many of its parts treat of pure physics: but where one deals with the art of reasoning, and of the rules of revealing the truth in any science whatsoever, mathematics has an astonishing use: therefore it is not to be separated from philosophy.[12]

‘Philosophy’ was defined by ’s Gravesande in the same oration literally as the love of wisdom. It included all scholarly pursuits—different disciplines such as physics, history, and logic, to which ’s Gravesande referred as «sciences»—but was not restricted only to the scholarly disciplines themselves. Therefore, the second use of mathematics would apply basically to all of humanity.[13] On its first use, that in physics, ’s Gravesande argued that in fields such as mechanics, astronomy, and hydrostatics we dealt primarily with motion. Consequently, we would need to make use of quantities because motion was best expressed as such:

---

12 ’s Gravesande 1734, I, 45: «Superest ut pauca de Mathesi addam […] Non tantum est clavis Physices, & multae illius partes mera Physica tractant: sed ubi de Arte ratiocinandi, & regulis detegendi Veri in scientia quacumque, agitur, mirum usum Mathesis habet: quare a Philosophia separanda haec non est».

13 *Ibid*., 26: «Philosophia, ut ipsum nomen indicat, est Sapientiae amor […] Hominibus omnibus necessaria est, ad omnes extendit, & in omni vitae statu, & ultra illas disciplinas sese expandit quae vulgo ad ipsam referuntur». I will come back to ’s Gravesande’s views on disciplinary demarcations below.

> All things in physics are accomplished by motion; because no change can be made to bodies, or at least be perceived by us, except that which is made by motion or produces motion […] But motion itself is a quantity; it can be increased and diminished; whatever therefore attends to [motion], that is, all in physics, ought to be treated mathematically.[14]

Since mathematics was according to ’s Gravesande the field of philosophy that treated of quantities, we evidently would need mathematics in order to do any serious work in mechanics, astronomy and hydrostatics as well. In turn these disciplines, and therefore mathematics, would give us useful knowledge in such practicalities as navigation, water management, and time-keeping.[15]

Both of these uses of mathematics appeared already in the oration ’s Gravesande held when he accepted the chair of mathematics and astronomy at Leiden University in 1717,[16] when he was only in his late twenties. It is noteworthy that the topic of this inaugural lecture was exactly the use of mathematics and that ’s Gravesande was initially appointed to a chair of mathematics and astronomy in Leiden. This of course meant that defending his discipline and pointing to its potential uses was of interest to ’s Gravesande for more than purely intellectual reasons; therefore, we should not jump

14 ’s Gravesande 1717, 15: «Motu omnia in Physica peraguntur; nulla enim mutatio in corporibus fieri potest, aut saltem a nobis sentiri, nisi quae motu fit aut motum producit […] Motus autem est quantitas; augeri & minui potest; quidquid ergo ad illum spectat, id est, tota Physica, Mathematice tractari debet». See also ’s Gravesande 1720, sixth page of the unnumbered *Praefatio*: «Agitur ubique [in Physicis] de motuum collatione, id est, de quantitatum comparatione, circa quam qui demonstrationibus Mathematicis in ratiociniis non progrediatur, si non in errorem, saltem in incertas conclusiones incidet». Although the title page gives the year 1720, the first volume appeared in fall 1719; see also the *Privilegie* on the first page of the book, dated 8 November 1719.

15 See ’s Gravesande 1717, 16-17 for his argument for the necessity of mathematics in mechanics and hydrostatics. Later parts of this text deal extensively with astronomy; see *ibid.*, 2 for potential applications of mathematical physics in navigation and time-keeping.

16 *Ibid.*, 2-3.

to conclusions about the aims of his 1717 lecture too soon. As I have pointed out elsewhere, most of ’s Gravesande’s earlier work was in mathematics, for instance in statistics and in the mathematical study of perspective. ’s Gravesande would only later become officially affiliated with the studies of physics and philosophy, the disciplines in which he would become most famous.[17]

However, that we should not merely interpret his discussion of the use of mathematics as defensive rhetoric becomes clear from the fact that the two uses of mathematics would continue to be central to ’s Gravesande’s discourse throughout his entire career. The oration of 1734 cited above was in fact held because of his appointment to the more prestigious chair of philosophy, still at Leiden University, which he would combine with his chair in mathematics and astronomy.[18] After this promotion, ’s Gravesande would start to teach additional courses in philosophy proper, but, as we have seen, the uses of mathematics remained important to him. Mathematics also figured as the privileged way of finding true propositions in his *Introductio ad philosophiam* of 1736, a book devoted predominantly to metaphysics and logic.[19]

Consequently, it seems evident that ’s Gravesande’s pleading for the use of mathematics was sincere. Yet, he was not an uncritical devotee of mathematics: he also addressed the limits of its applications. Wherever he would argue that mathematics was key to doing physics, ’s Gravesande also claimed that one could not draw physical conclusions on the basis of mathematics alone. As I will discuss more extensively in the last part of this article, ’s Gravesande’s argument was that abstract mathematics pertained only to

17 VAN BESOUW 2016.
18 See the title page of ’S GRAVESANDE 1734.
19 ’S GRAVESANDE 1736, see for instance 139, point 465; and 233, point 663.

our ideas, and not directly to the reality outside of us.[20]

Because of this, 's Gravesande also made quite negative remarks about pursuing mathematics just for its own sake on a number of occasions. In the preface of a book intended for the teaching of the basics of mathematics, he for instance first repeated his claim that this study could help us to train our mind, but after that added that he who would study mathematics without considering its applications «does not learn the proper mathematical method, but creates a disposition suitable only for reasonings about quantity».[21] According to his friend and biographer Jean Allamand, 's Gravesande used mathematics first and foremost as a means to get utile results for society and even disdained those «calculators» whose inquiries led only to pure speculation and not to any use for the other sciences or humanity in general.[22]

To sum up, 's Gravesande claimed that mathematics was useful predominantly or even exclusively because of its possible applications. He discussed two main lines of those applications: that of teaching the way of reasoning needed for finding true knowledge on the one hand, and its practical uses in physics and in technological endeavours on the other hand. Clearly then, 's Gravesande regarded mathematics mainly as a methodological tool, a

20 This argument is present in virtually all of 's Gravesande's methodological discussions. Perhaps the most influential locus where he makes this point is the preface of the first edition of the *Physices elementa mathematica*. See 'S GRAVESANDE 1720, seventh page of the unnumbered *Praefatio*.

21 'S GRAVESANDE 1727, *Praefatio*: «Qui enim dum Mathesi animum applicat, relique negligit, non proprie methodum Mathematicam addiscit, sed solis ratiociniis circa quantitatem ingenium aptum facit».

22 ALLAMAND 1774, xxiii: «Il méprisoit ces Calculateurs de profession, qui passent leur vie à la recherche de vérités de pure spéculation, dont la découverte n'est d'aucune utilité soit pour les autres sciences, soit pour les besoins de la vie». See for instance also the preface to 'S GRAVESANDE 1711, his first book, dedicated to the mathematics of perspectives. In this preface, 's Gravesande argues that he wants to find a middle ground between mathematical theory and application of that theory, explicitly in order to be of use to the painters that need to apply the theory of perspective.

catalyst for the development of philosophy in general and physics in particular.

3. Mathematical physics

The last of these two uses of mathematics, its application to physical problems, seems relatively straightforward. Yet, we have already seen that, according to Heilbron, there is very little mathematics in the *Physices elementa mathematica*. Although most historians argue for the more nuanced position that there is in fact an important mathematical component in the book, it has often been stressed that the most important characteristic of 's Gravesande's physics was its experimental nature. Following a single letter written by 's Gravesande to Newton in 1718, we often read that an important aim of the former's book was to make Newton's *Principia* accessible to those without mathematical training.[23] Indeed, in the letter we read that 's Gravesande had to demonstrate Newton's conclusions by experiment because his audience in general would not really understand mathematics:

> [A]s I talk to people who have made very little progress in mathematics I have been obliged to have several machines constructed to convey the force of propositions whose demonstrations they had not understood.[24]

Although the machines mentioned in the letter indeed figure prominently in his book, we should begin by taking into account that 's Gravesande's letter to Newton talks about the former's lessons rather than about his book, which

23 See for instance Nyden 2014, 213, 218; Jorink, Zuidervaart 2012, 36.
24 Willem Jacob 's Gravesande to Isaac Newton, 13/24 June 1718. This letter is printed in Hall 1982, 26.

still had to be written in 1718. Still, the full title of the book, *The basic mathematical principles of physics, confirmed by experiments; or, an introduction to Newtonian philosophy*,[25] does indeed indicate that 's Gravesande 'confirmed' his physics via experiments. Moreover, anyone who will leaf through the first edition published in 1719 will agree that it indeed contains little mathematics. In general, only elementary operations on proportions between physical entities such as forces, velocities, and distances can be found in this edition. There are some places where 's Gravesande touched upon non-trivial mathematics, but the sole place where more than basic mathematical skills were required from the reader seems to be his chapter on the rainbow. In that chapter, which counts seven pages out of a total of roughly 400, multiple refractions and reflections led 's Gravesande to compute among other things the proportions between different arcs.[26]

Clearly, the question of what was mathematical about 's Gravesande's actual physics remains to be answered. It seems that the conclusion that there was little mathematics in 's Gravesande's *Physices elementa mathematica* is warranted, and it becomes clear where Heilbron's argument comes from. However, as will become evident here, 's Gravesande's omission of heavy math-

25 The contemporary English translations by J. T. Desaguliers, of which the first edition was published in 1719 and the sixth and last in 1747, has the straightforward title *The mathematical elements of natural philosophy* […]. I wish to avoid such a translation of the Latin word 'elementa' with the English 'element' because of the latter's connotation of being some small part of a greater whole. The Latin 'elementa' does not obviously have this connotation and it is not the case that 's Gravesande tried to give just some of the mathematical principles of physics.

26 See 's GRAVESANDE 1721, 92-98 and plate 18. Besides this chapter, dense mathematical language can be found only on a singular page, namely *ibid.*, 162, on gravitational interaction between the Moon and the Earth. The reference is here to the second volume of the first edition. As this volume is numbered separately from the first and the date on the title page differs between the volumes as well, I will refer to the specific volume throughout and will distinguish the two in the bibliography.

ematics was grounded in educational considerations rather than methodological ones. If we look deeper, we will see that mathematics did in fact play an important methodological role in the book. Moreover, from the second edition of the *Physices elementa mathematica* on, this role reveals itself much more openly. Since such differences between the editions have not received sufficient attention in previous studies, I will discuss their various contents in some detail. It will become apparent that the book did much more than just making Newton's physics «accessible to those without advanced mathematics». This section ends with one example of 's Gravesande's application of mathematics to an experiment in physics. From that example, we can draw some conclusions about what role mathematics played in 's Gravesande's physics in general.

In the same note to the reader in the second edition in which 's Gravesande argued that one should follow Newton's method rather than Newton's opinions, he also pointed to the main difference between the two editions of his work, this being that he had taken the trouble in the second to make his book more valuable for those with extended mathematical training:

> So that [the first edition of] the book would be useful especially to beginners, I left everything difficult untouched, I often indicated that propositions, to which I only referred, had been proved by geometers. However, so that this second edition would be of use, and to readers more versatile in mathematics, I have added mathematical demonstrations to all such propositions, in *scholia* annexed to those chapters wherever they have been indicated.[27]

27 'S GRAVESANDE 1725(1), first of the unnumbered pages of the *Monitum de hac Secunde Editione*: «Cumque, ut tironibus praecipue liber hicce utilis esset, difficiliora omnia intacta relinquerem, saepe propositiones indicavi, de quibus tantum monuji, has a Geometris probari. Ut autem secunda haec editio, & lectoribus magis in Mathematicis versatis, usui esset, propositiones tales omnes, in capite quicunque indicatas, Mathematice demonstratas in scholiis, capitibus subjunctis, adjeci».

And this is indeed what one finds in the second edition, as well as in the third, of the *Physices elementa mathematica*. The second edition of 1725 contains roughly 150 pages more than the first, the third edition of 1742 adds more than 500 pages to the second one. The typesetting remains the same throughout all editions apart from the *scholia* which are «printed in minor character so that those other readers [not versatile in mathematics] are not disturbed».[28] That many of the additions to the second concern 'difficult things' left out for didactic reasons in the first edition becomes clear as well from the 'supplement' version of the 1725 edition. This supplement was created for those who already owned the 1720 edition. Roughly half of its 174 pages concern things which are clearly mathematical in nature; the rest of the supplement relates mostly to 's Gravesande's own work in the *vis viva* controversy: as is well known, 's Gravesande changed from the 'Newtonian' to the 'Leibnizian' measure of force in 1722.[29] The supplement contains the experiments which led 's Gravesande to change his initial position as well as the implications this change had on his discussion of such topics as composite motions and the mechanics of fluids.[30]

Some examples of actual mathematical problems addressed in the *scholia* of the 1725 edition might serve to prove that 's Gravesande did not add merely trivial mathematics to his physics: in the opening chapters on general philosophical ideas of bodies, the concept of divisibility and its infinite application to extension led him to introduce the logarithmic spiral and to discuss different classes of infinities; these discussions served mainly to show the possibility of an infinite contained in a finite.[31] To his considerations of

28 *Ibid.*: «Et ne haec lectores alios turbarent, ipsa minore charactere imprimi curavi».
29 This story is best told in HANKINS 1965, 286-291 and ILTIS 1973, 358-363.
30 'S GRAVESANDE 1725(2).
31 'S GRAVESANDE 1725(1), 9-12 and plate I. The status of the infinite was something to

pendulums, which were of course used for experiments both on collision and on free fall as well as for their use in controlling time, ʹs Gravesande added *scholia* on the properties of cycloids and showed how to determine the centre of oscillation.[32] These *scholia* did not merely constitute an exhibition of mathematical knowledge. In the first edition, ʹs Gravesande had warned his readers that his demonstration of the fact that a pendulum performs its respective oscillations in equal times held only under certain conditions. This passage was no longer needed in the second edition because the *scholia* would explain the properties of oscillating pendulums in mathematical detail.[33] Moreover, in the first edition ʹs Gravesande had to state in the same chapter that certain things had been «demonstrated further by geometers»; in the second edition, his readers no longer had to take him for his word on this as he actually provided the proofs himself in the new *scholia*.[34]

Likewise, for his chapter on central forces, which was largely concerned with experiments performed with an elaborate instrument developed by himself, ʹs Gravesande added no less than twelve pages fully filled with *scholia* running from the determination of circular motions to the determination of ellipses, and then via accelerated elliptical motions to the «computation of the movements of the apsides in curves very little different from the circle».[35]

---

which ʹs Gravesande returned on different occasions. See for instance ʹs Gravesande 1717, 13, and references in Gori 1972, 190-191. These discussions must be understood in the context of ongoing debates on the status and foundations of the concepts of the infinite and the infinitesimal. Discussion of these issues in the late seventeenth century can be found throughout Mancosu 1996.

32 ʹs Gravesande 1725(1), 71-75 and plate XI;

33 Compare ʹs Gravesande 1720, 45 with ʹs Gravesande 1725(1), 67.

34 ʹs Gravesande 1720, 46: «Demonstratur ulterius a Geometris […]», compare the same passage in the second edition, ʹs Gravesande 1725(1), 68: «Ulterius in primo scholio demonstramus […]».

35 ʹs Gravesande 1725(1), 98-109 and plate XV, see p. 108: «De computatione motuum apsidum in curvis parum cum circulo differentibus».

These *scholia* obviously had important applications in astronomy as set out by Newton in the *Principia*.

Naturally, it is in this last case unlikely that 's Gravesande added much new to the already existing mathematical treatments. We can assume that his discussion of central forces relied on the revolutionary treatments of Christiaan Huygens and Newton of 1673 and 1687 respectively, even though all references in these twelve pages are either to Euclid's Elements or to La Hire's 1673 *Nouvelle méthode en géométrie pour les sections des superficies coniques et cylindriques*.[36] As becomes clear from reading these particular *scholia*, however, these references are not intended to credit La Hire and Euclid for the mathematical results in the *scholia* but rather to point to demonstrations for particular inferential steps 's Gravesande took. His *scholia* were, as noted above, themselves often mathematical demonstrations of propositions he used elsewhere and these additional references simply served to complete the mathematical proofs. 's Gravesande nowhere claimed that he himself was the first to provide these demonstrations.

In fact, quite the opposite was true. In the first edition of his book, he had argued that, since he published only the 'basic principles' of physics, references to other works were unnecessary as most was already known.[37] Although the second edition clearly contained more than only basic principles, 's Gravesande apparently did not change his mind about referring to other works. It was only in the third edition that he provided a bibliographical

36 *Ibid*.

37 'S GRAVESANDE 1720, tenth page of the unnumbered *Praefatio*: «He who draws up the basic principles of a science, does not offer as much new material to the learned world; and for that reason, I have considered it useless to remind [the reader] where what is treated here would be found»; «Qui scientiae elementa conscribit, non quid novi, quantum ad materiam, Orbi Litterato pollicetur; ideoque inutile duxi monere ubi reperiantur quea hic traduntur».

essay so as to credit others and to refer his readers to the places where they could find more.[38] Yet, these references cannot be found in the body of the text itself, and therefore more work would be required to determine on whom 's Gravesande built in the *scholia* to the *Physices elementa mathematica* and to what extent he contributed to mathematics itself. To answer this question, it would be necessary to study particular mathematical *scholia* in detail. This would however fall outside of the scope of this study. Rather than claiming that 's Gravesande published new mathematical results, my aim here is to show that he was in fact applying advanced mathematics in his physics. That 's Gravesande was a gifted mathematician has been proved before, in particular with regard to his *Essai de perspective* published in 1711.[39]

The subject of this *Essai* was the mathematical study of perspective, which was of course related to optics. We can infer from this that 's Gravesande also knew how to apply mathematics to other fields than mechanics, to which all of the above mentioned examples relate. In the second edition of the *Physices elementa mathematica* of 1725, however, we can still only find *scholia* related to either mechanics itself or to fluid mechanics. The reason for this is that the first edition of the book was divided into two volumes, the first concerned with mechanics and the study of fluids, almost exclusively fluid mechanics, whereas the second volume dealt with astronomy and the study

38 'S GRAVESANDE 1742, vol. I, *Praefatio hujus tertiae editionis*, xv-xxxv, see in particular xviii: «In praecedentibus editionibus non indicavi ubi habeantur illa, quae ex aliis desumsi, qoud a multis improbari percepi». It becomes clear from the respective prefaces of his work that 's Gravesande himself cared little about intellectual credit. I plan to discuss this elsewhere in more detail.

39 'S GRAVESANDE 1711. Many aspects of this book have been studied by ANDERSEN 2007, 328-360; see also the shorter treatment in CANTOR 1908, 594-597. For the importance of this work to 's Gravesande's early career, see VAN BESOUW 2016, 238-242. Some aspect of 's Gravesande's mathematics have been discussed in SHOESMITH 1987, as well. An overview of 's Gravesande's mathematics would be extremely useful but does not exist as yet.

of light—its bulk being optics but some chapters on fire and electricity were included as well. In the 1725 edition, only the first of these volumes was updated,[40] and its new mathematical *scholia* consequently related exclusively to mechanics and fluids. With regard to the latter, 's Gravesande in 1725 for instance treated the deceleration of bodies moving in fluids and from this also came to discuss logarithms. With these mathematical treatments, he was able to differentiate between two types of deceleration, one where equal decreases of velocity took place in equal times, and another where the decrease of velocity was proportional to the square of that velocity.[41]

There is one single instance of an application of mathematics in this 1725 edition that starts to cross the boundaries of fluid mechanics. In the last part of the first volume, still in the half of that volume dedicated to fluids, 's Gravesande discussed the properties of air, which he called 'an elastic fluid', as well as the density of air and the propagation of sounds. Many of the arguments made in these last chapters concerned experiments made with air pumps.[42] In earlier classifications, these chapters could have been described as belonging to the field of pneumatics rather than to that of fluids. Two *scholia* were added to this part on air in the second edition of the *Physices elementa mathematica*. For our purposes, the first is the most interesting, as 's Gravesande there set out to show that the particles of air would move according to the same mathematical law as a pendulum vibrating in a

40 ALLAMAND 1774, xxx, states that «les changemens faits au second [Tome] étoient peu considérables» in the 1725 edition, but as far as I can see there were no changes whatsoever. All of the editions of the 1725 editions I have been able to locate either do not include the second volume at all or contain a copy of the original second volume as it was printed first in 1721. This is confirmed by the list of DE PATER 1988, 152.

41 'S GRAVESANDE 1725(1), 283-296 and plate XXXVII. These two types of deceleration are closely connected to the *vis viva* controversy discussed above and therefore relate to 's Gravesande's new discussion of mechanics as well.

42 'S GRAVESANDE 1720, 158-188.

cycloid,[43] thus connecting the study of air with the better known case of the mechanics of free fall.

Many more mathematical demonstrations were added in the *scholia* of the last edition of the book, published in 1742. This edition was published again in two volumes, but both of these single volumes are larger in themselves than the two volumes of the first edition taken together. As in that first edition, the first volume of the 1742 print concerns mechanics and fluid mechanics, but the parts on the mechanics of air are shifted to the second volume, where they are combined into «Liber IV»[44] with the parts on fire, now taken out of the earlier parts on optics. Together, the discussions of air and fire, as 's Gravesande called them, rather than pneumatics and heat, take up 127 pages, but no *scholia* are added to these parts besides the two already existing in the 1725 second edition. Besides these parts, however, new *scholia* can be found anywhere in the 1742 edition, both in the first volume on mechanics and fluids as well as in the parts on optics and astronomy in the second volume. Interestingly, the computations on the rainbow, singled out above as the only case of significant mathematical content in the 1720 edition, are no longer found in the main text of the third edition, but are instead put in an additional *scholium* to the chapter.[45]

Clearly, mathematics played an important part in the *Physices elementa mathematica*, in contrast to what has sometimes been assumed. But what was the exact role of such mathematical additions to 's Gravesande's practice? A more detailed example might help to answer this question. In one of his most

43 'S GRAVESANDE 1725(1), 342-344 and plate XLVII.
44 See the list of contents, 'S GRAVESANDE 1742, vol. I, lxx-lxxi. «Liber IV» of course translates as «book IV», but I will avoid this translation in order not to create confusion.
45 *Ibid.* II, 918-920; compare with 'S GRAVESANDE 1721, 93-97.

famous experiments, discussed at length in the last edition of his work, ’s Gravesande dropped copper balls into a tray filled with clay in order to determine the ‘force’ the balls would acquire during their fall. With this experiment, he set out to demonstrate that this acquired force would be proportional to the height of the fall and therefore, via the relations known from Galileo’s work, to the square of the velocity of the ball. This would show that the force acquired in free fall was a concept that needed to be kept apart from the concept of momentum, which was proportional to the velocity itself. By making this distinction ’s Gravesande attempted to solve the *vis viva* controversy mentioned above. According to ’s Gravesande, the force of the balls could be found by the effect they had on the clay while coming to rest, that is, by the volume of the cavity they made in the clay.

To make his experiment yield results that could be generalized into a relation between force and velocity, ’s Gravesande made different trials with balls of known weights and velocities. He performed the experiment with balls of equal volume but with weights in ratios 1, 2, and 3 to each other, and had a machine built with which he could vary the heights of fall. These different heights stood in fixed ratios of 1, 2, 3, and 4 to each other. These simple relations enabled ’s Gravesande to give the theoretically expected proportions between the cavities with ease: given that the force would be as the weight multiplied by the height of the fall, the force, and therefore the cavity it made in the clay, of a ball with weight 3 and height 2 would be expected to be six times as large as that of a ball with weight 1 and height 1. ’s Gravesande compared these theoretical values with the volumes of the cavities he found in the actual experiments, and concluded that these experimental values showed the same proportions and thereby confirmed his theoretical measure of force.[46]

Thus, ʼs Gravesande used simple mathematical proportions in order to compare the theoretical values for the forces with values he could find in a tightly controlled experiment. This way, he was able to generalize the quantitative results of his experiment into a more complex relation between different physical concepts, those being mass, height, velocity, and force in this case. Yet, this is not the only way in which mathematics was involved in this experiment. When ʼs Gravesande compared the theoretical value with the volume of the cavity yielded by the experiment, he could not measure this volume directly. Instead, he measured the diameter of the cavity and referred to a table (cf. Table 1, Appendix) he provided in a *scholium* in order to find the volume from that diameter. As far as I am aware, ʼs Gravesande nowhere discussed how to compute these volumes out of the diameter.[47] Nevertheless, this was not a particularly straightforward computation. The values ʼs Gravesande actually compared were those of the third column of the table. These values are the volumes of the cavity in proportion to the volume of the

46 ʼS GRAVESANDE 1742, vol. I, 243-244, see also 235-237 and plate XXXII. My understanding of ʼs Gravesandeʼs experiment, and in particular of the difficulties involved in drawing out the results, has benefited enormously from discussions with Tiemen Cocquyt and Ad Maas, as well as from their reenactment of the experiment: «The truth in a layer of clay: A replication of ʼs Gravesandeʼs vis viva experiment» during the international workshop «Early eighteenth-century experimental philosophy in the Dutch Republic», 7 July 2014, Royal Flemish Academy of Belgium for Science and the Arts, Brussels. Cocquyt and Maas are preparing a study of this experiment for publication. ILTIS 1973, in particular 359-362, and COSTABEL 1964 are prominent older interpretations of the experiment. Iltis offers a discussion of the context in which ʼs Gravesande first performed these experiment as well as a short description of her own repetition of one of his experiments. Costabel describes the experiment in detail and focuses on the experimental difficulties. Although his discussion is useful, the accuracy of Costabelʼs conclusions suffers from the vehemence of his anti-positivism.

47 For the table see ʼS GRAVESANDE 1742, vol. I, 246-247. Three more scholia follow directly after this one, but these are mostly concerned with finding the time in which the cavity is made after impact. ʼs Gravesande found different curves to express this time for different figures; see in particular *ibid.*, 252-254.

hemisphere of the ball dropped down; this volume of the hemisphere is set to the value 1,000 in the table. To find the number in the third column, one first needs to calculate the height of the cavity with the formula:

$$h = R - \sqrt{R^2 - r^2}$$

with R the radius of the ball itself and r the radius of the cavity, i.e. half its diameter. This relation follows easily from elementary geometry but in order to compute the values of h, one still has to approximate the value of the square root. Furthermore, in order to find the volume of the cavity and state this in proportion to the volume of the ball itself one needs to make use of the following two formulas:

$$V_{cav} = \frac{\pi h}{6}(3r^2 + h^2)\, ;\, V_{hemisphere} = \frac{2}{3}\pi R^3$$

With V_{cav} the volume of the cavity and $V_{hemisphere}$ the volume of half the ball. To find the values of the third column, one then has to find the proportions between these volumes. Inserting the above formula for h and multiplying by 1,000 gives the following recipe to find S, the proportional volumes of the cavities that ’s Gravesande actually compared and that are stated in the third column of table 1:

$$S = \frac{10^3}{2R^3}\left(R - \sqrt{R^2 - r^2}\right)\left(R^2 + r^2 - \sqrt{R^2 - r^2}\right)$$

Although none of these operations demands advanced mathematics, it seems reasonable to suppose that one needs to be at least comfortable with basic geometry. Similarly, finding dozens of numerical values of S, as ’s Gravesande did in his *scholium*, would have costed a significant amount of time for one who did not deal frequently with such computational issues.[48]

In this particular case, ’s Gravesande used mathematics first of all in setting up his experiments in such a way that one could get useful but simple quantitative relations between the different entities encountered in the experiments. From these experiments and their simple results, he would then try to find more general relations by applying somewhat more difficult geometry and algebra. In the other examples discussed in this section, we have seen that he also applied more complex mathematics in order to discuss such things as the oscillations of pendulums. This same description of pendulums was furthermore used in a later chapter to describe the propagation of sounds. Thus, it seems that we should understand ’s Gravesande’s claim to perform mathematical physics most of all in the sense that he first worked with carefully set up quantitative measurements, and second that he used mathematical relations to derive more abstract generalizations from these controlled experiments. Evidently, mathematics played a significant methodological role in ’s Gravesande’s experimental physics.

4. Mathematical reasoning and mathematical evidence

Having said this about the use of mathematics in his physics, the question of what ’s Gravesande exactly meant with the other application of mathematics needs to be addressed as well. What about mathematics made it so useful to philosophy and the art of reasoning in general? To answer this question, we should begin to ask what it meant to think at all, according to ’s

48 In my case, I wish to thank Nigel Vinckier for his help in dealing with the mathematics involved. Getting the numerical values is of course unproblematic with modern technology; those of ’s Gravesande’s table generally seem to be correct. This indicates that his approximation of the square roots was performed with sufficient precision.

Gravesande: what was his description of the process of reasoning itself? ’s Gravesande spent ample time to explain exactly this in several of his works, and in particular in his last book, the *Introductio ad philosophiam*, which was used to teach logic and metaphysics. There, too, he claimed that mathematics was central to reasoning, as he argued that «by well ordered exercise in the mathematical sciences, the higher faculties of memorizing are made more perfect».[49]

The gist of his ideas on this topic was however already contained in the oration on mathematics ’s Gravesande gave in 1717, and it is illuminating to follow the argument presented there in some detail. According to ’s Gravesande, if we wanted to reason well we should first of all train our minds to do so. Like all other skills, reasoning could be improved by practice. Furthermore, he claimed that the art of reasoning was the same in all sciences. It would begin with comparing different ideas in our mind and judging whether these ideas would be similar or different. In all our reasonings, he asserted, we would therefore constantly make judgements about the agreement of two ideas.[50] This would be straightforward as long as ideas could be compared easily. The best thing about numbers, ’s Gravesande explained, was that comparing them posed no problems whatsoever:

> Of the idea of sums of numbers, for instance four and five, if they would be compared with the idea of the number nine, we will perceive with a single look that these do not to differ between them.[51]

49 ’s Gravesande 1736, 266: «In Mathematicis scientiis, exercitatione bene ordinata, perfectiores fiunt superius memoratae facultates».

50 ’s Gravesande 1717, 3-4.

51 *Ibid.*, 5: «Idea numerorum summae, ex. gr. *quator* & *quinque*, si conferatur cum idea numeri *novem*, unico intuitu videmus ideas has inter se non differre».

Yet, in most other cases such a straightforward comparisons could not be made. In these cases, 's Gravesande maintained, we need to introduce «middle ideas». He continued to argue that we need to be very precise in making trains of thoughts and that we need to train our mind in finding the right middle ideas to connect the ideas that we want to compare; that we should not invoke things which are irrelevant; and that we should have evident foundations for our thoughts.[52] Most interestingly, however, was that 's Gravesande claimed that even though it was the study of logic that would teach us the rules of reasoning, it was «mathesis [that] renders [them] truly familiar by continuous use, and by that study, the indispensable force of the mind of reasoning well is strengthened».[53] This, he repeated over and over, was the case because the object of mathematics was quantity and we understood the relations between quantities so well that we could not err in seeing whether quantities agreed with each other or not. Consequently, practicing our skill in reasoning would best be done in mathematics.[54] In a second oration held in 1724, 's Gravesande made his point about the strength of mathematical reasoning even stronger:

> I would say that anybody, [even if this person] is not well versed in the mathematical disciplines, but is only a beginner, and somebody at the first steps, would perceive that these sciences lay claim to the particular method to prove

52 *Ibid.*, 5-6. According to SCHUURMAN 2004, 131-132, 's Gravesande's discussion of ideas and faculties of understanding, as set out most elaborately in the *Introductio ad philosophiam*, largely follows the tradition of the 'logic of ideas' developed by Descartes, Arnauld, Malebranche, and Locke; yet Schuurman insists that 's Gravesande's discussion of moral and mathematical evidence, to which I will turn now, contains many new insights.

53 *Ibid.*, 6: «Logica regulas in ratiocinando observandas exponit, Mathesis vero continuo usu familiares reddit, & in illius studio, mentis vis ad bene ratiocinandum necessaria corroboratur».

54 *Ibid.*, 7: «ut mens attenta nunquam erret in pronuntiando de illarum [quantitatum] convenientia aut dissensione».

> the truth; and that mathematical demonstrations are accompanied by evidence, which overcomes stubbornness that is invincible by all other means.[55]

Here again, we see that 's Gravesande stressed the methodological importance of mathematics. In this second oration, which had the title *De evidentia*, 's Gravesande's elaborated on the issue by distinguishing two types of evidence, mathematical evidence and moral evidence. Although this distinction has attracted quite some attention in recent years, the focus has generally been on moral evidence rather than on mathematical evidence because of the former's critical role in 's Gravesande's legitimation of empirical knowledge.[56] I will come back to moral evidence shortly, but our focus here should be on the role of mathematical evidence in reasoning. In 1724, 's Gravesande argued again that if we have two ideas in our mind, we will necessarily see whether they are similar or not:

> Therefore, these things are opposed: for the mind to perceive ideas, and it not to perceive a true comparison that is given between the ideas; from this [the mind] will be self-conscious of this perception, and it will have the persuasion that no doubt about this comparison is able to survive.[57]

The first example he provided for such a comparison was again one taken from elementary arithmetic, now between the number seven and the sum of

55 'S GRAVESANDE 1734, vol. II, 3. «Nemo non dicam in Mathematicis disciplinis versatus, sed in hisce scientiis tiro, & quidem in primo limine, non percepit, peculiarem probandae veritatis Methodum sibi vindicare sciencias hasce; Mathematicasque demonstrationes Evidentiâ concomiitari, pertinaciam omni alio modo invictam superante».

56 As becomes clear from the titles of GORI 1991 and DE PATER 1995. More recent treatments follow this pattern, see SCHUURMAN 2004, 141-146 and DUCHEYNE 2014(1), 41-43.

57 'S GRAVESANDE 1734 II, 6: «Pugnantia ergo haec sunt, Mentem percipere ideas, & hanc non percipere veram quae datur inter ideas comparationem; & eo ipso hujus perceptionis sibi conscia erit, persuasumque habebit dubium nullum circa hanc comparationem superesse posse».

the numbers three and four. He concluded that the immediate perception we have of such comparisons is the «foundation of mathematical evidence» and that this evidence itself was its own criterion of truth.[58] Right after this, 's Gravesande repeated that mathematics had «the privilege not to err» and recapitulated in three points «the object of *mathesis* and the method of mathematics».[59] In reverse order, these three points were that mathematicians proceeded from the simple to the more compound by the use of middle ideas; that mathematics treated of quantities, the easiest ideas to compare;[60] and, first in 's Gravesande's list, that:

> Mathesis treats of ideas, and of ideas only; and the mathematician, qua mathematician, attends not in the least to whether the ideas about which is reasoned correspond or not to any thing that exists.[61]

His point here was that mathematics would not treat of what we would call concrete things, but concerned only the abstract. 's Gravesande clearly made a distinction between what was in our mind, namely ideas, and that which was not, the concrete. If we wanted to reason about something concrete, as we would do for instance in physics, we first had to form an idea of it, and ideas were of course located in our mind. This formation of ideas of concrete things, the passage from the concrete to our mind, however, was according to

---

58 *Ibid.*, 7: «veri desideratum criterium ipsam esse Evidentiam», 's Gravesande explicitly proposes this as the answer to a sceptical demand for a criterion of truth. See GORI 1991, 21 for discussion.

59 *Ibid.*, 8: «haud difficulter probabimus quare Mathesis sibi non satis aestimandum vindicet privilegium *non errare:* cujus ut pateat justus titulus, quaedam de Matheseos objecto, Mathematicorumque methodo breviter memoranda erunt».

60 *Ibid.*, 8-9.

61 *Ibid.*, 8: «Versatur Mathesis circa ideas, & circa ideas tantum; minimeque curat Mathematicus, qua Mathematicus, utrum ideae de quibus ratiocinantur cum ulla re quae est congruant an non».

ʼs Gravesande excluded from the discipline of mathematics. This was the case for a couple of other sciences as well, ʼs Gravesande claimed. Among these were logic, ontology, and the foundations of ethics. These sciences did not address anything but ideas in the mind, excluding the world around us from their scope. Because of that, we could simply deduce propositions from self-evident first principles, that is, we could exclusively make use of mathematical evidence.[62] Other sciences, though, such as physics, history, and theology had no first principles that were self-evident and therefore could not rely purely on logical deduction: this is where we find one of the limits of the application of mathematics. Instead of on deduction, ʼs Gravesande maintained, these sciences had to be founded on our observations of the world around us. Therefore, they had to make use of what ʼs Gravesande referred to as moral evidence rather than mathematical evidence.[63] This way, ʼs Gravesande explicitly distinguished between sciences that are, and the sciences that are not based on this so-called mathematical evidence.

If, according to ʼs Gravesande, mathematical evidence was gained through comparison of ideas and strict deduction from such comparisons, this entailed that this type of evidence could only be gained from demonstratively true propositions, that is, principles of which the negation would be evidently false.[64] If the elementary rules of arithmetic are taken for granted, this is certainly the case for ʼs Gravesande's cherished example of $4 + 5 = 9$. Its opposite, that is, the negation of this statement, would be $4 + 5 \neq 9$.

62 *Ibid.*, 11-14.
63 *Ibid.*, 17-19.
64 Gori 1991, 21, rightly asserts that, for ʼs Gravesande, «mathematics have their criterion of truth in the principle of contradiction», whereas this is not the case for «matters of fact», *ibid*. According to ʼs Gravesande, a proposition and its opposite could both be possibly true if we talked about concrete things. Mathematical evidence on the contrary applied where the opposite of a true proposition was necessarily false.

Obviously, the first statement is correct and the second incorrect. Thus, we have mathematical evidence for a proposition if and only if we can demonstrate by deduction that it is correct in this sense.

For this to be possible, one of course needed to start the deduction from self-evidently true principles. One might grant that this is the case in arithmetic, but for a field like ontology, where according to 's Gravesande mathematical evidence applied as well, this was much less obvious. One particular short example 's Gravesande provided in the oration of 1724 might help to clarify his thoughts. This particular demonstration made use of two axioms. The first of these was that «there is something now, therefore there has been something from eternity»;[65] if this would not be true, 'something' had been created at a particular moment out of 'nothing', which 's Gravesande clearly considered impossible.[66] His second axiom was «cogito ego»; 's Gravesande clearly regarded both of these as self-evidently true. From the fact that he was thinking 's Gravesande deduced that he was intelligent. Combining this with the first axiom, he concluded that the first cause also needed to be intelligent for otherwise intelligence would have come out of nothing, which would be impossible. Moreover, this intelligence must infinitely exceed all other intelligences in order to create them: this first intelligent cause of course would be God.[67]

Hence, 's Gravesande claimed to have mathematical evidence for the existence of God as the first cause. From the fact that God must be infinitely

65 'S GRAVESANDE 1734, vol. II, 12. «Aliquid nunc est; ergo aliquid ab aeterno fuit».

66 This is a version of the cosmological argument which posits God as the first cause of all things. In a manuscript published only posthumously, 'S GRAVESANDE 1774, in particular 176-179, 's Gravesande developed this argument more completely. I will discuss this elsewhere in more detail.

67 'S GRAVESANDE 1734, vol. II, 12.

intelligent, 's Gravesande furthermore set out to prove that we could have certain and reliable knowledge in the fields that depend on moral evidence. From God's intelligence, his goodness immediately followed according to 's Gravesande.[68] Moreover, since man is in need of knowledge of the world around him, God would contradict his own goodness if he would not have given man the means to acquire such knowledge.[69] Because of this, knowledge of things outside of our minds could be gained if we would carefully handle the three «aids» we had for finding it, these aids being our senses, the testimony of others, and analogical reasoning.[70] Therefore, 's Gravesande claimed to have demonstrated with mathematical evidence, the method exemplified by mathematics itself, that those sciences relying on mere moral evidence could give us true knowledge as well:

> [We] see how much the foundations of assent will differ for different circumstances. But even as these different foundations are allowed, and it is allowed that mathematical evidence would not in the least coincide with moral evidence, a different persuasion [for them] nevertheless does not follow from that.[71]

Thus, the type of deductive reasoning learned from mathematics was used by 's Gravesande to prove that the sciences that depended on moral evidence, such as physics, could deliver true knowledge if we used our resources well. Physics in particular, however, had another relation with mathematics as

68 *Ibid.*, 13.

69 *Ibid.*, 21-22.

70 *Ibid.*, 20: «Auxilia haec sunt Sensus, Testimonium, & Analogia». This argument is treated at length in for instance GORI 1991; GORI 1972, 228-265; DE PATER 1995, and STRAZZONI 2015, chapter VI

71 *Ibid.*, 24: «Videtis AA. NN. quantum different pro diversis circumstantiis assensionis fundamenta. Sed licet different fundamenta haec, licet Evidentia Mathematica minime cum Morali congruat, non tamen diversa inde sequitur persuasio».

well, as «physics pertains to mixed mathematics»,[72] according to ’s Gravesande. As we have seen, he argued that pure mathematics treated only of ideas. Yet, he also allowed for a «mixed mathematics» that reasoned «about the things themselves», that is, things outside our mind.[73] This type of mathematics clearly was not based on abstract, self-evident first principles, and therefore lacked the first of ’s Gravesande’s three reasons why mathematics would not err. Yet, physics, or mixed mathematics, did of course treat of quantities, the simplest ideas. It also proceeded from these simple ideas to more complex ones, and therefore followed the method of mathematics to a certain extent:

> When, in physics, we have properly cognized the phenomena from the aids of moral evidence, that is, when it is correct for us to hold ideas of these phenomena, [ideas] which agree with the things themselves, the reasonings about these ideas will be mathematically certain, and the conclusions can be applied to the things themselves.[74]

’s Gravesande furthermore explained that, in sciences such as metaphysics, we could depend solely on mathematical evidence because of the fact that they concerned ideas only. Yet, since these sciences did not follow mathematics in treating quantities, they could not define the terms they used as rigorously as mathematics could. Consequently, the axioms of metaphysics were less obvious to interpret and therefore conclusions could not be drawn

---

72 ’s Gravesande 1720, second page of the unnumbered *Praefatio*: «Ad Mathesim mixtam pertinet Physica». See Ducheyne 2014(2), 101 for ’s Gravesande on mixed mathematics.

73 ’s Gravesande 1734, vol. II, 8-9: «Matheseos partibus in quibus de rebus ipsis agitur […] Mixtam in hoc casu dicimus Mathesim».

74 *Ibid*., 19: «Ubi in Physicis moralis Evidentiae auxilio bene cognita habemus Phaenomena, id est, ubi constat nos horum Phaenomenon habere ideas, quae cum rebus ipsis conveniunt, ratiocinia circa has ideas Mathematice certa erunt, conclusionesque ad res ipsas poterunt applicari».

as easily as in mathematics.[75] In theology, this inexactness was present as well. Even worse, there was according to ’s Gravesande no way to give mathematical evidence that God «would have declared his divine announcement to mankind». Yet, when we had established via moral evidence that there was in fact such a divine announcement, ’s Gravesande asserted that the «the stability of the reasonings [that we base upon this divine announcement] will be mathematical» again.[76]

What we see is that ’s Gravesande discussed methodologies of different disciplines, and did so by comparing all of them to mathematics. Mathematics was the science where we could apply our inexorable logic most effectively, «but the method that mathematicians use, [could] be applied to all sciences», he claimed.[77] In theology, it was only the deductive logic that we could copy from mathematics, and only once we had established some stable starting points via moral evidence. In physics, observation and analogy were to provide these starting points for deductive reasoning as well, but we also had the benefit of dealing with quantities, the ideas with which we could avoid error easily. In metaphysics, on the other hand, we could not reason with quantities, but instead had the gain of being able to establish our first principles via mathematical evidence, that is, simply by demonstration from self-evident ideas.

---

75 *Ibid.*, 14-16.

76 *Ibid.*, 17-18: «an suprema & infinita Intelligentia voluntatem suam Hominibus peculiaribus declaraverit Oraculis […] hoc ex simplici idearum collatione nunquam determinari poterit: ubi autem de Oraculis constat, conclusiones, ex iis deducendae […] ad ideas spectabunt; & ratiociniorum stabilitas Mathematica erit». ’s Gravesande of course implied that such an announcement could be found in Scripture.

77 *Ibid.*, 10: «Methodus autem, qua utuntur Mathematici, omnibus scientiis potest applicari».

5. Conclusion

As has become clear in this article, 's Gravesande regarded the methodology of mathematics as a prototype of stable and certain reasoning. Mathematics and mathematical reasoning provided the way to achieve true knowledge in philosophy in general and in physics in particular. The 'art of reasoning' was best learnt through mathematics because it was in that science that we found its clearest application. Mathematics had three characteristics that led us to avoid errors: building trains of thoughts via rigorous deduction; handling only abstract ideas for which we did not need knowledge of the things themselves; and pertaining to quantities, the simplest ideas. All other sciences lacked at least one of these characteristics, but according to 's Gravesande would best follow the mathematical method with regards to the others as much as possible.

In its application to physics, mathematics played a methodological role, too, and it is here that we find the sort of unitary answer that Gori has asked for. First, 's Gravesande carried out quantitative measurements with great regard for detail. Because mathematics was according to 's Gravesande the study that related to quantities, these measurements were inevitably mathematical. Yet, 's Gravesande also applied higher level mathematics to his physics in order to compare different concepts, or ideas in his own vocabulary, to each other quantitatively. Contrary to what has been claimed in recent literature, he had solid reasons for calling his physics 'mathematical' as mathematics helped him to derive more abstract generalizations from his measurements. Clearly, we would, according to 's Gravesande's philosophy, have moral evidence for such generalizations. If we had been careful enough, these generalizations were to be considered as certain, and could be used as axioms or principles on which we could build further reasoning. For 's Gravesande, the role of mathematics was clearly to provide a rigorous and certain methodology to physics.

JIP VAN BESOUW

VRIJE UNIVERSITEIT BRUSSEL

Acknowledgements

This article has benefitted from comments by Steffen Ducheyne, Pieter Present, Yannick Van den Abbeel and the anonymous referees. I am grateful to Steffen and Pieter for their help with translations from Latin and to all participants of the workshop in Paris for useful discussion. My research has been made possible by funding of the Research Foundation - Flanders (project G002913N).

APPENDIX

Quà Sphæræ Segmenta, & Coni, ex datis Diametris, conferuntur, diviso Hæmisphærio in mille partes, & hujus Diametro in Centum. 867.

Diam.	Segment. Profund.	Segm.	Coni.	Diam.	Segment. Profund.	Segm.	Coni.
35.			23.	68.	13.	97.	172.
36.			25.	69.	14.	104.	179.
37.			27.	70.	14.	111.	187.
38.			30.	71.	15.	118.	195.
39.			32.	72.	15.	126.	203.
40.			35.	73.	16.	134.	212.
41.			38.	74.	16.	143.	221.
42.			40.	75.	17.	152.	230.
43.			43.	76.	17.	162.	239.
44.			46.	77.	18.	173.	249.
45.			49.	78.	19.	184.	259.
46.			52.	79.	19.	196.	269.
47.			56.	80.	20.	208.	279.
48.			60.	81.	21.	221.	290.
49.			64.	82.	21.	235.	301.
50.	7.	26.	68.	83.	22.	250.	312.
51.	7.	28.	72.	84.	23.	266.	323.
52.	7.	30.	77.	85.	24.	283.	335.
53.	8.	33.	81.	86.	24.	301.	347.
54.	8.	36.	86.	87.	25.	320.	359.
55.	8.	39.	91.	88.	26.	341.	372.
56.	9.	42.	96.	89.	27.	363.	385.
57.	9.	45.	101.	90.	28.	387.	398.
58.	9.	48.	106.	91.	29.	414.	411.
59.	10.	52.	112.	92.	30.	442.	425.
60.	10.	56.	118.	93.	32.	473.	439.
61.	10.	60.	124.	94.	33.	508.	453.
62.	11.	64.	130.	95.	34.	547.	468.
63.	11.	69.	136.	96.			483.
64.	12.	74.	143.	97.			498.
65.	12.	80.	150.	98.			514.
66.	12.	85.	157.	99.			530.
67.	13.	91.	164.	100.	50.	1000.	546.

TABLE 1: ’S GRAVESANDE 1742, I, 247. ’s Gravesande referred his readers to this table in his famous *vis viva* experiment. The first column gives the diameter of the cavity, the second its computed height, and the third its volume in proportion to the volume of the ball itself. The fourth column concerns another experiment.

BIBLIOGRAPHY

ALLAMAND 1774 = JEAN NICOLAS SEBASTIEN ALLAMAND, *Histoire de la vie et des ouvrages de Mr. 's Gravesande,* in WILLEM JACOB 'S GRAVESANDE, *Oeuvres philosophiques et mathématiques de Mr. G. J. 'sGravesande*, ed. JEAN NICOLAS SEBASTIEN ALLAMAND, 2 vols., Amsterdam, Rey, vol. I, ix-lix.

ANDERSEN 2007 = KIRSTI ANDERSEN, *The Geometry of an Art: The History of the Mathematical Theory of Perspective from Alberti to Monge*, New York, NY, Springer.

CANTOR 1908 = MORITZ CANTOR, *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*, 4 vols., Leipzig, Teubner.

COSTABEL 1964 = PIERRE COSTABEL, «'s Gravesande et les forces vives ou des vicissitudes d'une expérience soi-disant cruciale», in I. BERNARD COHEN, RENÉ TATON (eds.), *Mélanges Alexandre Koyré, I: L'aventure de la science*, Paris, Hermann, 117–134.

DE PATER 1988 = KEES DE PATER, *Willem Jacob 's Gravesande: Welzijn, wijsbegeerte en wetenschap*, Baarn, Ambo.

DE PATER 1994 = KEES DE PATER, «Willem Jacob 's Gravesande (1688-1742) and Newton's *regulae philosophandi*, 1742», *Lias* 21 (1994), 257-294.

DE PATER 1995 = KEES DE PATER, «'s Gravesande on Moral Evidence», in MARCEL F. FRESCO, LOEK GEERAERDTS, KLAUS HAMMACHER (eds.), *Frans Hemsterhuis: (1721-1790); Quellen, Philosophie und Rezeption*, Münster, Zentrum für Niederlande-Studien, 221-242.

DUCHEYNE 2014(1) = STEFFEN DUCHEYNE, «'s Gravensande's Appropriation of Newton's Natural Philosophy, Part I: Epistemological and Theological Issues», *Centaurus* 56:1 (2014), 31-55.

DUCHEYNE 2014(2) = STEFFEN DUCHEYNE, «'s Gravensande's Appropriation of Newton's Natural Philosophy, Part II: Methodological Issues», *Centaurus* 56:2 (2014), 97-120.

GORI 1972 = GIAMBATTISTA GORI, *La fondazione dell'esperienza in 'sGravesande*, Firenze, La Nuova Italia Editrice.

GORI 1991 = GIAMBATTISTA GORI, «Moral evidence in 's Gravesande», *Acme: Annali della Facoltà di Lettere e Filosofia dell'Università degli Studi di Milano* 44 (1991), 19-29.

HALL 1982 = A. RUPERT HALL, «Further Newton Correspondence», *Notes and Records of the Royal Society of London* 37 (1982), 7-34.

HANKINS 1965 = THOMAS L. HANKINS, «Eighteenth-Century Attempts to Resolve the Vis viva Controversy», *Isis* 56 (1965), 281-297.

HEILBRON 2011 = JOHN L. HEILBRON, «Natural Philosophy», in PETER HARRISON, RONALD L. NUMBERS, MICHAEL H. SHANK (eds.), *Wrestling with Nature: From Omens to Science*, Chicago, The University of Chicago Press.

ILTIS 1973 = CAROLYN ILTIS, «The Leibnizian-Newtonian debates: natural philosophy and social psychology», *The British Journal for the History of Science* 6 (1973), 343-377.

JORINK AND ZUIDERVAART 2012 = ERIC JORINK, HUIB ZUIDERVAART «'The miracle of our time': How Newton was fashioned in the Netherlands», in ERIC JORINK, AD MAAS (eds.), *Newton and the Netherlands: How Isaac Newton was Fashioned in the Dutch Republic*, Amsterdam: Leiden University Press, 13-65.

MAAS 2012 = AD MAAS, «The Man Who Erased Himself: Willem Jacob 's Gravesande and the Enlightenment», in ERIC JORINK, AD MAAS (eds.), *Newton and the Netherlands: How Isaac Newton was Fashioned in the Dutch Republic*, Amsterdam, Leiden University Press, 113-137.

MANCOSU 1996 = PAOLO MANCOSU, *Philosophy of Mathematics and Mathematical Practice in the Seventeenth Century,* Oxford, Oxford University Press.

NYDEN 2014 = TAMMY NYDEN, «Living Force at Leiden: De Volder, 's Gravesande, and the Reception of Newtonianism», in ZVI BIENER, ERIC SCHLIESSER (eds.), *Newton and Empiricism*, Oxford: Oxford University Press, 207-222.

RUESTOW 1973 = EDWARD G. RUESTOW, *Physics at seventeenth and eighteenth-century Leiden: Philosophy and the new science in the university*, The Hague, Martinus Nijhoff.

SCHLIESSER 2011 = ERIC SCHLIESSER, «Newton's Challenge to Philosophy: A Programmatic Essay», *HOPOS: The Journal of the International Society for the History of Philosophy of Science* 1 (2011), 101-128.

SCHUURMAN 2004 = PAUL SCHUURMAN, *Ideas, Mental Faculties and Method, The Logic of Ideas of Descartes and Locke and its Reception in the Dutch Republic, 1630-1750*, Leiden, Brill.

'S GRAVESANDE 1711 = WILLEM JACOB 'S GRAVESANDE, *Essai de Perspective*, The Hague, Troyel.

'S GRAVESANDE 1717 = WILLEM JACOB 'S GRAVESANDE, *Oratio Inauguralis, de matheseos, in omnibus scientiis, preacipue in physicis, usu, nec non de astronomiae perfectione ex physica haurienda*, Leiden, Luchtmans.

'S GRAVESANDE 1720 = WILLEM JACOB 'S GRAVESANDE, *Physices elementa mathematica, experimentis confirmata. sive introductio ad philosophiam newtonianam*, vol. I, first edition, Leiden, Van der Aa.

'S GRAVESANDE 1721 = WILLEM JACOB 'S GRAVESANDE, *Physices elementa mathematica, experimentis confirmata. sive introductio ad philosophiam newtonianam*, 2 vols., Leiden, Van der Aa.

'S GRAVESANDE 1723 = WILLEM JACOB 'S GRAVESANDE, *Philosophiae Newtoniannae institutiones, in usus academicos*, Leiden, Van der Aa.

'S GRAVESANDE 1725(1) = WILLEM JACOB 'S GRAVESANDE, *Physices elementa mathematica, experimentis confirmata. sive introdcutio ad philosophiam newtonianam*, vol. I, second edition, Leiden, Van der Aa.

'S GRAVESANDE 1725(2) = WILLEM JACOB 'S GRAVESANDE, *Supplementum physicum, sive addenda & corrigenda in prima editione, tomi primi […] Physices elementa mathematica, experimentis, confirmata, sive introduction ad philosophiam newtonianam*, Leiden, Van der Aa.

'S GRAVESANDE 1727 = WILLEM JACOB 'S GRAVESANDE, *Matheseos universalis elementa*, Leiden, Luchtmans.

’S GRAVESANDE 1734 = WILLEM JACOB ’S GRAVESANDE, *Orationes Duae; prima; De vera, & nunquam vituperata philosophia; altera: De evidentia*, Leiden, Luchtmans.

’S GRAVESANDE 1736 = WILLEM JACOB ’S GRAVESANDE, *Introductio ad Philosophiam; Metaphysicam et Logicam continens*, Leiden, Verbeek.

’S GRAVESANDE 1742 = WILLEM JACOB ’S GRAVESANDE, *Physices elementa mathematica, experimentis confirmata. sive introductio ad philosophiam newtonianam*, 3 vols, third edition, Leiden, Langerak.

’S GRAVESANDE 1774 = WILLEM JACOB ’S GRAVESANDE, «Essais de Metaphysique», in WILLEM JACOB ’S GRAVESANDE, *Oeuvres philosophiques et mathématiques de Mr. G. J. ’sGravesande*, ed. JEAN NICOLAS SEBASTIEN ALLAMAND, 2 vols., Amsterdam, Rey, vol. I, 173-215.

SHOESMITH 1987 = EDDIE SHOESMITH, «The continental controversy over Arbuthnot’s argument for divine providence», *Historia Mathematica* 14 (1987), 133–146.

STRAZZONI 2015 = ANDREA STRAZZONI, *The Foundation of Early Modern Science: Metaphysics, Logic and Theology*, PhD dissertation, Erasmus University Rotterdam.

VAN BESOUW 2016 = JIP VAN BESOUW, «The impeccable credentials of an untrained philosopher: Willem Jacob ’s Gravesande’s career before his Leiden professorship, 1688-1717», *Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science* 70 (2016), 231-249.

VANPAEMEL 2003 = GEERT VANPAEMEL, «The culture of mathematics in the early Dutch Enlightenment», in WIEP VAN BUNGE (ed.), *The early Enlightenment in the Dutch Republic, 1650–1750*, Brill, Leiden, 197–214.

The tension between the mathematical and metaphysical strands of Maupertuis' Principle of Least Action

Yannick Van den Abbeel[1]

1. Introduction

In one of the most important twentieth-century textbooks of physics, *Course of Theoretical Physics*, 1962 Nobel prize winner Lev Landau writes that his exposition «makes no use of the historical approach, [and that] from the very beginning it is based on the most general principles: Galileo's principle of relativity, and Hamilton's principle of least action».[2] From these two principles Landau aims to derive the whole of classical mechanics. Without doubt, the principle of least action is a fundamental principle in classical mechanics. In the twentieth century, the intuitions behind the principle of least action were further generalized from classical to quantum mechanics[3] and many other domains in physics. Contemporary physicists, however, consider the PLA as a purely *mathematical principle* – even an axiom which they cannot completely justify. Such an account stands in sharp contrast with the historical meaning of the principle of least action.

When the principle was introduced in the 1740s, by Pierre Louis Maupertuis, its meaning was much more versatile. For Maupertuis the prin-

1 The author's research is funded by a PhD Fellowship of the Research Foundation – Flanders (FWO).

2 Landau & Lifshitz 1969, *Preface*, vii.

3 Yourgrua, Mandelstam 1960.

ciple of least action signified that nature is thrifty or economical in all its actions, i.e., that nature avoids to do anything unnecessary. Maupertuis understood the principle in teleological terms and even considered the principle as an expression of God's wisdom[4]. It has been correctly pointed out by historians that Maupertuis in his later years moved towards a more speculative and metaphysical approach, whereas his contemporary Euler and later Lagrange, wanted to avoid such theological and metaphysical implications and frame the PLA (in line with contemporary standards) in purely mathematical terms.[5]

Such readings, however, have had the unintended side-effect that they lose out of sight the question how the mathematical and metaphysical aspect of the principle of least action *fit together within Maupertuis' own work*. Investigating *if* and *how* the mathematical and metaphysical aspects of the PLA are compatible within Maupertuis' thought will be the main goal of this paper.

In order to address this question properly it is necessary to first say a few things about the complex and changing relationship between metaphysics and physics during Maupertuis' time. It is often assumed that with the publication of Newton's *Principia* physics immediately took a positivistic and mathematical turn. However, the transition from natural philosophy to modern physics did not occur overnight. The disentanglement of

4 Even though Maupertuis' metaphysical and theological speculations on the PLA were quickly ignored in the eighteenth century, the philosophical implications of the PLA remain open for discussion. Unfortunately, despite its growing importance in physics, philosophers of science have been ignoring this topic for a long time. cf. STÖLTZNER 2003.

5 Euler did not really pursue the theological implications of the principle as such, but was more interested in the mathematical exploration of the principle. Euler's program in mechanics, however, was not free from metaphysics and teleology. It was Lagrange who, in the most radical way, purified mechanics from any metaphysics, theology and teleology, and posited the principle of least action as a mathematical consequence of his axiomatic *principle of virtual velocities*.

metaphysics and physics was a complex and gradual process that started to take shape during the eighteenth century but was only completed in the nineteenth century. The transitional nature of this process also explains Maupertuis' ambivalent attitude towards metaphysics throughout his career.[6] In his early years, he was critical of speculative metaphysics and *a priori* reasoning[7] and favored the mathematical and empirical approach of Newton.[8] An important change in attitude occurred when Maupertuis moved from Paris to Berlin. In 1740 Frederick the Great inherited the Prussian throne and wanted to revitalize the academy of letters and sciences in order to rival those of France and England[9]. Voltaire had endorsed Maupertuis as the new president of the Prussian Academy of Sciences, and in 1746 Maupertuis took up the position. As Mary Terrall (2002) discusses in more detail: before his arrival the institution went through a series of structural changes. Its

6 The above biographical introduction is kept to a minimum. For a complete and detailed overview of Maupertuis' life and his scientific accomplishments, the reader is advised to consult the excellent work of BEESON 1992, and the more recent book of TERRALL 2002. Also the recent edited volume HECHT 1999 contains many relevant articles.

7 It must be pointed out that Maupertuis was not anti-metaphysics *per se*. Rather, his point was that metaphysics should not be pursued independently of empirical research or experience. In his early years he did not introduce a new metaphysical scheme but reflected merely on those of others. For example, in his *Discours sur les différentes figures des astres* (1732), which includes a chapter entitled *Metaphysical discussion upon attraction*, Maupertuis argues that the notion of attraction does not logically contradict other properties of bodies and we can therefore on an *a priori* basis not dismiss it. The empirical success of Newton's gravitational theory was actually a strong argument not to reject it.

8 Understanding the dissemination of Newtonianism in France has been an important topic in the literature. The work of BRUNET 1931 is mainly concerned with Maupertuis' role as an advocate of Newton's theories in France against a Cartesian establishment. BEESON 1992 points out in his study that the dichotomy between Newtonianism and Cartesianism is too simplistic and we must give proper due to the impact of Leibnizeanism as well. A different perspective which downplays the impact of Newton is pursued by SHANK 2004. Also his more recent book SHANK 2008 is of interest and includes a chapter on *The Invention of French Newtonianism: Maupertuis and Voltaire*.

9 Cf. TERRALL 2002, 173-198, 231-269. Also her earlier article TERRALL 1990 discusses the culture of science in Frederick the Great's Berlin. Some other relevant articles which provide context are AARSLEFF 1989 and CALINGER 1968.

members were divided into four classes: experimental philosophy, mathematics, speculative philosophy, and literature. It was the speculative philosophy class which would provide Maupertuis with a new environment and incentive to pursue his own metaphysical mechanics.[10] Maupertuis, however, wanted to find a middle way between the extremes of the Leibnizian-Wolffian dogmatic philosophy and the French disgust of metaphysics.[11] In a letter to Bernoulli he wrote:

> German metaphysics is a strange science, but that is not the fault of metaphysics, but rather of the Germans […] The French are too disgusted with metaphysics; the Germans are too mired down in the mud. Perhaps the Swiss can find a viable middle ground.[12]

Maupertuis wanted to reform metaphysics, and he thought this reform needed to happen both on an institutional, philosophical and methodological level.[13] Terrall in her excellent book has explained in detail the story of Maupertuis' role in the Berlin Academy's political organization. In the next section we will show how Maupertuis' discontent with the metaphysical ap-

10 Cf. Terrall 2002, 237, 239, 270.

11 It seems a bit too strong to say that there was absolutely no interest in metaphysical issues in France. Criticism of the notion of force as well as a more general criticism with respect to causes and causal explanations was not uncommon (cf. the work of d'Alembert), but this was hardly a French affair; we can find a similar criticism also elsewhere in Europe. Furthermore, members of the Paris Academy of Sciences were participating in the *vis viva* controversy and the question was even issued as one of the prize questions. Also figures such as Émilie du Châtelet are well-known for promoting a natural philosophy that combines Newtonian physics with Leibnizian metaphysics. It is possible that Maupertuis was exaggerating the French context, because he might have considered his intellectual freedom too limited to pursue further his own (reformed) metaphysical program in Paris.

12 Letter from Maupertuis to Johann II Bernoulli, 18 September 1747, cf. Bernoulli 1747.

13 The new metaphysical method Maupertuis is looking for (contra his contemporaries) is also the topic of Leduc 2015. A somewhat broader story of the faith of metaphysics is given by Clark 1999.

proaches of his contemporaries led him to pursue a new program in metaphysics in which the PLA would play a central role.

2. The Development of the Principle of Least Action

In this part of the paper we will proceed chronologically and discuss the three most important texts related to the development of the PLA. In the first subsection I will focus on *Loi du repos des corps* (1740) which shows Maupertuis' search for general mathematical principles in physics and his application of the calculus to formulate physical problems in terms of minimal conditions. The second subsection discusses the paper *Accord des différentes lois de la nature qui avoient jusqu'ici paru incompatibles* (1744). Not only did Maupertuis in this paper successfully unify the three laws of optics under one higher principle, he also for the first time used teleological terms and even referred to God's wisdom. These speculative elements became more prominent in his next paper, *Les lois du mouvement et du repos, déduites d'un principe de métaphysique* (1746), in which he sees his principle as encompassing all natural phenomena and providing an incontrovertible proof of God's existence. The history of the development of the principle of least action is very rich and broad.[14] In this section, I will limit myself to providing a genealogy which

14 A general overview can be found in the article JOURDAIN 1912 as well in the excellent book of BEESON 1992. Commentators such as PANZA 1999 and PULTE 1987 provide a more detailed and technical account of the mathematics at stake and also take into account Euler who was key for the development of Maupertuis' ideas. Others, such as GERHARDT 1898 and KABITZ 1913, have discussed the controversy with Samuel Koenig, who claimed that Maupertuis had plagiarized Leibniz, the alleged true originator of the principle of least action. Furthermore, as we already pointed out above, TERRALL 2002 is sensitive to the political context and the more general culture of science. BOUDRI 2013, on the other hand, has read the PLA with respect to the changing metaphysical conception of force during the eighteenth century. Finally, FEHER 1988 focusses on the role of metaphor and analogy in the birth of the principle of least action. Providing a *synopsis* of these different perspectives is not required for the purpose of this paper.

highlights both the mathematical and metaphysical aspects of the PLA. Such a developmental story will set the stage for the next section, where we will ask to which extent these two aspects are compatible with each other in Maupertuis' own thinking.

2.1. *Loi du repos des corps*

Maupertuis read to the Paris Academy on the 20th of February 1740 the paper *Loi du repos des corps* in which he presents a new principle in statics. Before turning to a more technical discussion of this principle, he offers a reflection on the nature and types of principles in physics:

> If the sciences are founded on certain simple and clear principles from the first type, on which all the truths that are the object thereof depend, they have yet other principles, less simple truthwise, and often difficult to discover, but which once discovered, are of very great utility. These are in some way the laws which Nature follows in certain combinations of circumstances, and which teach us what she will do on similar occasions. The first principles hardly require any demonstration by their evidence which is obvious to the mind as soon as it examines them. The principles of the second kind, however, do not have a rigorous physical Demonstration, because it is impossible to go through all the cases in which they take place.[15]

Maupertuis introduces a distinction between «clear and simple principles» that «do not require any demonstration» and principles that are neither simple nor generally proven, but that nevertheless, once discovered, can be very useful in specific circumstances.[16] Even though the latter cannot be

15 MAUPERTUIS 1740, 170.

16 Maupertuis twofold division is not unproblematic and one might wonder – given his skepticism and critique of *a priori* rationalism – if he is really convinced that we can have knowledge of principles of the first kind? LEDUC 2015 suggests they are 'mathematical axioms'. BEESON 1992 suggests they are fundamental metaphysical principles (e.g. the principle of non-contradiction). TERRALL 2002 suggests they are physical axioms of

demonstrated rigorously, they have *inductive certainty*.[17] Maupertuis states that physics will never be able to provide an *a priori* proof of these principles, but that perhaps such a proof belongs to «some higher science» (« *quelque science supérieure* »).[18] These remarks are vague, but it is reasonable to align them with his later attempts to provide a metaphysical justification for general principles in physics. In 1740 he does not pursue this further but only points out that the certainty of principles of the second kind is so great that some mathematicians do not hesitate to make them the foundations of their theories. Maupertuis says that these principles are used every day to solve problems and that they function as a «mental shortcut». Indeed, because «our spirit, being a thing of limited scope, often finds that the distance from the first principles to the point it aims at is too great, [it] tires or loses its way».[19] Accordingly, these intermediate principles allow one to dispense with part of the deductive chain and one «often finds that [once applied] the mind has but a little way to go to reach [its] goal».[20] Such shortcuts are particularly useful in statics and dynamics, he says, where «the complicated way that force is

---

the mathematical sciences (e.g. Newton's *axiomata sive leges motus*). The last interpretation has some credibility because in the text Maupertuis says that it would be too difficult to solve physical problems starting deductively from (physical?) principles of the first kind. However, one might wonder to which extent first principles such as Newton's laws of motion are 'clear and simple' and 'do not require any demonstration'.

17 « Jamais on n'a donné de Démonstration générale à la rigueur, de ces principes; mais jamais personne, accoûtumé à juger dans les Sciences, et qui connaîtra la force de l'induction, ne doutera de leur vérité. Quand on aura vû que dans mille occasions la Nature agit d'une certaine manière, il n'y a point d'homme de bon sens qui croye que dans la mille-unième elle suivra d'autres loix ». (MAUPERTUIS 1740, 170); cf. also BOUDRI 2013, 146.

18 « Quant aux Démonstrations a priori de ces sortes de principes, il ne paroît pas que la Physique les puisse donner; elles semblent appartenir à quelque science supérieure ». (MAUPERTUIS 1740, 170)

19 *Ibid*., 171.

20 *Ibid*.

related to matter makes these refuges even more necessary».[21] He mentions the principle of the lowest center of gravity in statics, and the principle of the conservation of living force in dynamics as examples of *unproven but practically useful principles*. The main goal of the *Loi du repos des corps* is to introduce a new principle to the mathematician's toolbox, namely 'the law of rest'. This principle (roughly stated) expresses the conditions of equilibrium for a system of bodies acted upon by any number of central forces which are directly proportional to any integral power n of the distance to their centers. Maupertuis writes each central force as $F_i = f_i \cdot z^n$ where the f_i are constants which express the 'intensities' of the respective forces and z is the distance to the center. Having explained his terminology we can now turn to the formulation of his principle.

> Consider a system of bodies that weigh, or that are drawn towards centers by forces which act on each separately as a power n with respect to their distances to the centers. In order that all these bodies would remain at rest, the sum of the products of each mass, by the intensity of its force, and by the power n + 1 of its distance to the center of its force (which may be called Sum of the Forces of rest) attains a Maximum or Minimum.[22]

In other words, for a system of bodies of which each is attracted to a center by a force varying as the n-th power of the distance from that center, to remain in equilibrium, it is necessary that the quantity

$$\sum m_i \cdot f_i \cdot z_i^{n+1}$$

is a *maximum or a minimum*, where f is the intensity of the force which acts on m, and z is the distance of the mass m from its center of force. This condition then reduces to the mathematical equation

21 *Ibid*.
22 *Ibid*.

$$\sum m_i \cdot f_i \cdot z^n = 0$$

Maupertuis proves this principle for two simple mechanical systems.[23] The first is a system with one degree of freedom[24]: a system consisting of a finite number of masses which are rigidly linked to a fixed center and rotate in the same plane. The second case is a system with two degrees of freedom in which the configuration is similar to the first case, except that the rigid connections are replaced with flexible connections in the form of non-elastic cords, and the center can move freely. The mathematical details of Maupertuis' argument will not be outlined here. However, it is worth mentioning that his proof ultimately relies on the *principle of virtual work* of Johann Bernoulli.[25] Even though his previous mentor, who supported him in his mathematical training, used a slightly different terminology and represented the equilibrium conditions in terms of a balance of forces multiplied by elements of distance (infinitesimal displacements), a closer investigation reveals that Maupertuis' law of rest was built on this principle.

Maupertuis' 1740 paper stirred very little interest during his time. From a historical point of view, however, this paper is interesting because it shows Maupertuis' first step towards the explicit formulation of both the term and the concept of the principle of least action. There are some striking similarities with his later thought. Most importantly, the law of rest is expressed as a minimal or maximal condition – a key characteristic of the later mathematical formulation of the principle of least action. Furthermore, Maupertuis'

---

23 Cf. BOUDRI 2013, 148 for a good outline and visualization of the two cases.

24 The notion 'degrees of freedom' belongs to the vocabulary of contemporary mechanics, and refers to the number of independent parameters that determine the configuration of a mechanical system.

25 For a broader discussion, see HIEBERT 1962, LINDT 1904, or the more recent discussion in CAPECCHI 2012, 195-216.

reflection on the nature and usefulness of principles in physics attests to his search for new principles in physics. Finally, despite his critical attitude of metaphysical speculation and *a priori* rationalism, he seems to leave the door open for metaphysics when he says that the demonstration of intermediate principles might be provided by 'some higher science'. We must, however, be careful not to read too much in his earlier work. There is no mention of teleology or God at this stage, nor does Maupertuis have the ambition to provide a very general principle which is applicable across the different sciences (optics, dynamics, and statics). These developments will only appear in the following years, starting with his paper on optics of 1744.

2.2. *Accord des différentes lois de la nature qui avoient jusqu'ici paru incompatibles*

The first major breakthrough in the development of the PLA occurred in the paper *Accord des différentes lois de la nature qui avoient jusqu'ici paru incompatibles* (1744). In this paper, Maupertuis seeks a principle in the field of optics from which the three laws of optics can be deduced. Maupertuis considers the positions of Descartes and Newton[26] to be unsatisfactory and argues that an approach which uses metaphysical principles is preferable. He refers to earlier attempts to explain the laws of optics by using metaphysical principles, which he equates with «those laws to which Nature herself appears to have been subjected by a higher intelligence which, in producing its effects,

26 Maupertuis' view on the historical development of the conflicting theories of refraction is based on Mairan's 1732 study *Suite des recherches physico-mathematiques sur la réflexion des corps*. Another important source of Maupertuis in this paper was Clairaut's 1739 paper *Sur les explications Newtonienne & Cartésienne de la refraction de la lumière* which convinced Maupertuis of the Cartesian position that light moves more quickly in denser media.

causes nature always to act in the most simple way».[27] It soon becomes clear that Maupertuis is referring to *Fermat's principle of least time,* which states that the path taken by a ray of light between two points is the path that can be travelled in the least time. Though Maupertuis was sympathetic to Fermat's effort to subsume the laws of optics under one general principle, he disagreed with Fermat on a theoretical level.

> Fermat himself did not hesitate in believing that light travelled more easily and more quickly in less dense media than in media of higher density […]. Nevertheless, Descartes advanced exactly the opposite, that light moves more quickly in denser media and, although his [mechanical] reasoning was perhaps inadequate, his faults does not stem from his assumption about the speed of light.[28]

Maupertuis endorses the position of Descartes according to which light moves more quickly in denser media. Today we know Fermat was actually right and Descartes was wrong, but this point is not so important for my further discussion. The more important point I want to discuss is how Maupertuis developed an alternative to Fermat's least-time principle:

> After meditating deeply on this matter, I have contemplated whether light, already abandoning the shortest way, which is that of a straight line, when passing from one medium to another, could not also follow that of the shortest time. Indeed, which preference must it have of time over space? Light cannot all at once travel through the shortest way and through that of the shortest time. Why would it rather travel by one of these paths than by the other? So light does not follow either of them, but it takes the path that offers a more real advantage: *the path light takes is that by which the quantity of action is the least*.[29]

Maupertuis points out that there is no reason why light would prefer the shortest time or distance and that the real expense (*dépense*) that nature seeks

27 MAUPERTUIS 1744, *Accord de différentes loix de la nature*, 421.
28 *Ibid*., 422.
29 *Ibid*., 423.

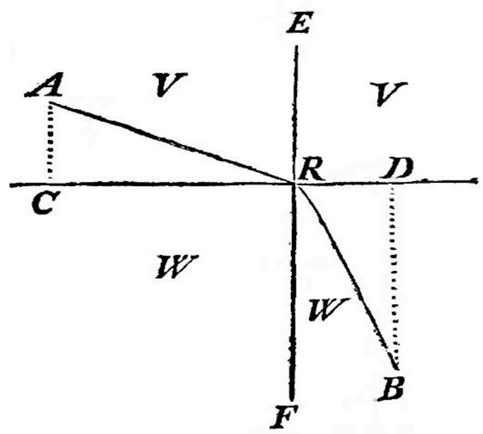
to economize is the 'quantity of action', which he understands as follows: action appears to be a measure of what is required to move a body from *A* to *B* at a particular velocity and along a particular path. More generally, when a particle changes its speed along its path, action becomes proportional «to the sum of the distances, each multiplied by the velocity at which the body passes through [these distances].»[30] In a formula this becomes:

$$Action = \sum v_i \cdot \Delta s_i$$

But how can Maupertuis derive from this principle the three laws of optics? In his paper he only derives the third law of optics. But by way of introduction, I shall illustrate how the first laws of optics follows easily from his action principle. The first law of optics states that *light moves in a straight line in a uniform medium.* So how can we prove this? Since the ray of light does not change its medium its velocity will remain constant. So the above expression becomes: $Action = v \cdot \Delta s$. Since v is constant, minimizing this expression reduces to minimizing the distance Δs. But the shortest distance between any two points (in Euclidean space) is given by a straight line. So we have derived the first law of optics, i.e. light moves in straight lines. It must be pointed out that in a homogeneous medium the action-principle is equivalent to the least-time-principle of Fermat. The situation becomes different for the third law of optics, which deals with refraction due to a change of transmission medium. I will now outline Maupertuis' proof of the third law.[31] Consider the following situation:

30 *Ibid.*

31 Maupertuis' proof is given on p. 424. The above proof is the same in spirit, but adopts a more modern formulation (using the notion of a derivative of a function, using equations instead of proportions). This modern perspective does not distort the argument, but makes it easier for the reader to follow the proof.



where V and W are the respective velocities in the different media, which are separated by the border CD. The principle of least action states that the following quantity should be minimal:

$$V \cdot AR + W \cdot BR = V \cdot \sqrt{AC^2 + CR^2} + W \cdot \sqrt{BD^2 + RD^2}$$

Since $RD = CD - CR$, we have that $RD^2 = CD^2 - 2CD \cdot CR + CR^2$ and the above equation becomes

$$V \cdot \sqrt{AC^2 + CR^2} + W \cdot \sqrt{BD^2 + CD^2 - 2\,CD \cdot CR + CR^2}$$

Since AC, BD and CD are constants, and we can take CR as the variable (since R is the variable place where the light changes the medium), one can look mathematically at the first derivative of the above function with respect to CR. This leads to the equation

$$\frac{V \cdot 2 \cdot CR\, dCR}{\sqrt{AC^2 + CR^2}} + \frac{W \cdot 2 \cdot (CD - CR)\, dCR}{\sqrt{BD^2 + CD^2 - 2\,CD \cdot CR + CR^2}} = 0$$

which after cancellation, and substituting the denominators back, gives

$$\frac{V \cdot CR}{AR} = \frac{W \cdot DR}{BR}$$

or, after reordering:

$$\frac{W}{V}=\frac{CR/AR}{DR/BR}=\frac{\sin(\beta)}{\sin(\alpha)}$$

Where *W/V* is a constant proportion, α is the angle between *AR* and the normal, and β is the angle between *BR* and the normal. This is then Maupertuis' (reversed) version of Snell's law. Maupertuis also provides a teleological interpretation of the PLA in the concluding passages of his paper. Maupertuis understood the PLA to mean that Nature is thrifty or economical in all its actions, i.e. that Nature aims not to do anything unnecessary or needless. This interpretation clearly ascribes some form of teleology to Nature, which for Maupertuis was moreover an expression of God's wisdom. Maupertuis says that

> One cannot doubt that everything is regulated by a supreme Being, while he has imprinted in matter forces which denoted power, has destined it to execute effects that mark his wisdom. And the harmony between these two attributes [i.e. power & wisdom] is so perfect, that undoubtedly all the effects of Nature could be derived from each one taken separately. The first of these ways [i.e. focussing on the properties of material bodies and the causes of their physical effects] is the one most within our reach, but does not take us far. A second type of ways [i.e. based on final causes] may lead us stray, since we do not know enough of the goals of Nature and we can be mistaken about the quantity that must be considered as the true expense of Nature in producing its effects.[32]

Even though Maupertuis says that it is more difficult to attain *knowledge* about final causes, he does affirm that they *are* inherent to the natural world. The basic idea in the above passage sounds very familiar.[33] Leibniz also fam-

32 *Ibid*., 425-426.

33 HECHT 2001 discusses the relation between Leibniz' concept of possible worlds and the analysis of motion in eighteenth-century physics in more detail. It is important to point out that the comparison between Leibniz and Maupertuis is our own. Maupertuis never explicitly mentions his indebtedness to Leibniz. On the contrary, Maupertuis' knowledge of the Leibnizian positions, as he himself claims, is quite poor until the end of the 1740s.

ously claimed that all existent facts can be explained in two ways – through a kingdom of power or efficient causes and through a kingdom of wisdom or final causes.[34] This double method, which provides a role for final causes in physics, is stated explicitly in Leibniz' controversial text *Tentamen Anagogicum*, where he refers to the two 'kingdoms' which exist even in corporeal nature and says that they

> interpenetrate without confusing or interfering with each other - the realm of power, according to which everything can be explained mechanically by efficient causes when we have sufficiently penetrated into its interior, and the realm of wisdom, according to which everything can be explained architectonically, so to speak, or by final causes when we understand its ways sufficiently.[35]

Maupertuis, in a Leibnizian spirit, likewise saw his principle as affirmation of God's wisdom and the inherent teleology in nature. As TERRALL 2002 summarizes: isolated mechanical interactions might appear 'blind and necessary', but considered in a metaphysical context, they become part of «the designs of the most enlightened and free Intelligence».[36]

Maupertuis stressed the theological aspects more in the following years. On 6 October 1746, he read a paper to the Berlin Academy entitled *Sur les lois du mouvement et du repos déduites des attributs de Dieu*. The title of this paper is somewhat misleading, because it suggests that Maupertuis intended to provide an *a priori* proof of the laws of nature in the same manner as Descartes deduced the laws of motion from the immutability of God. Maupertuis was very critical of such *a priori* arguments. Probably, what he

34 Cf. HIRSCHMANN 1987.
35 LEIBNIZ 1890, Vol. 7, 273.
36 TERRALL 2002, 179.

really meant to say was that *divine wisdom* reveals itself when we take the dimension of *final causality in nature* into account. It is probable that this was one of Maupertuis' reasons to change the title of the published version of his paper into *Les lois du mouvement et du repos, déduites d'un principe métaphysique*.

2.3. *Les lois du mouvement et du repos, déduites d'un principe de métaphysique*

As was pointed out in the introduction, during his later years Maupertuis adopted a more speculative attitude. The metaphysical and theological consequences of his principle of least action became more important than the actual mathematics involved. This clearly emerges from his 1746 paper, which opens with a critique of the arguments from design or, as he calls it, «the proofs of God's existence drawn from the marvels of nature».[37] Maupertuis's criticisms are quite elaborate and I will not go through all of them.

His first and most serious opponent is Newton, who in the *Opticks*[38] claimed that the uniform motion of the planets reveals an Intelligent Designer. Maupertuis says that even though it is «extremely improbable that the six planets would move as they do»[39] the probability is not zero. The uniformity of planetary motion is not a *necessary proof* of an Intelligent Designer because it might be the result of *pure chance.* Maupertuis adds a second argument and says that if we were able to acquire a better knowledge of the cause of gravity and how it operates, we would no longer need to resort to God. He refers to the Cartesians for whom a certain «fluid transports the planets or at least

37 The full title of the first section of his paper is *Assessment of the Proofs of God's Existence that are Based on the Marvels of Nature.*

38 Newton, *Opticks*, 1717/1718, Third Book, Query 28, p 344-45, Query 31, p 377-378.

39 MAUPERTUIS 1746, 270-271.

regulates their motion»[40] and suggests that if we would have an explanation of this kind, invoking God becomes superfluous. Maupertuis did not actually present a physical causal explanation for gravity, but his point merely seems to be that *lack of knowledge does not warrant us to posit a necessary connection* between the planetary orbits and God's wisdom.

Maupertuis next attacks Newton's design arguments with respect to living beings. Maupertuis rejects the claim that God perfectly designed the organs of animals, and again suggest that *chance* might have «produced a countless number of individual animals, of which a few were constructed so that they could meet their own needs»[41] and a vast number of other individual animals «perished since their parts were not suitable for survival».[42] Nature is, furthermore, full of contradictory purposes.[43] The naturalist might be perplexed by the wonders of divine providence at work in Nature when he observes the development of a fly or an ant (i.e. in the growing-process the egg seals itself first in a chrysalis and then undergoes a metamorphosis). But, Maupertuis sarcastically adds, these wonders only seem to produce an insect that bothers human beings, will be eaten by a bird, or will get caught in a spider's web.[44] Putting aside such contradictory purposes in nature, Maupertuis admits that even though modern authors have acquired much more knowledge about the finer details and marvels of Nature, these results remain a very weak argument for the existence of God.

In the second part of his paper Maupertuis proceeds *positively* and ar-

---

40 *Ibid*., 271.
41 *Ibid*., 271-272.
42 *Ibid*., 272.
43 Maupertuis was well-versed in these areas and worked himself as naturalist, cf. *Vénus physique* (1745) and the *Système de la nature* (1754).
44 *Ibid*., 274.

gues that convincing proofs of God's existence must be based on general laws of nature, which are «founded on the attributes of a supreme Intelligence». Maupertuis' point is clear:

> We should not seek the supreme Being in little details, in the parts of the universe of whose connections we know too little of; rather, we should seek Him in universal phenomena that allow no exception and whose simplicity is entirely exposed to our view.[45]

Even though the human mind cannot comprehend the totality of all natural phenomena, mathematics is able to reveal an underlying order that coincidentally also reveals the divine wisdom.[46] The mathematical approach in itself is, of course, not new and many before Maupertuis exploited the power of mathematics. Maupertuis' key insight and innovation was to *understand mathematical extrema in teleological terms*, such that mathematics became a stepping stone to reveal the wisdom of God.

Before deducing the laws of collision (which are confirmed by experience), he briefly discusses the various debates on the *nature and cause of motion*[47] which had led to an impasse. According to Maupertuis «a true philosopher does not engage in vain disputes about the nature of motion; rather, he wishes to know the laws by which it is distributed, conserved or destroyed, knowing that such laws are the basis for all natural philosophy».[48] Maupertuis was not completely satisfied with some of the answers of his contemporaries. Leibniz' claim that living force (*vis viva*) was conserved, for

45 *Ibid*., 277-278.
46 Cf. TERRALL 2002, 274-275.
47 Maupertuis briefly mentions questions such as whether motion exists at all, if force has a physical reality, whether motion is an essential property of matter or not, and whether we must make motion dependent on some prime mover or God.
48 MAUPERTUIS 1746, 283.

example, led some people to belief that truly inelastic hard bodies do not exist. Maupertuis rejected this position, arguing that the ultimate particles of matter must be infinitely hard and inelastic. Rather than taking sides with Descartes (and Newton) in the *vis viva* controversy, Maupertuis points out the limitations of *both* Descartes' conservation of quantity of motion (*mv*) and Leibniz' conservation of *vis viva* (mv^2), which each apply only in certain situations. Maupertuis claims that he has discovered a new *universal principle* which applies in all situation and is able to overcome the endless (metaphysical) debates in mechanics.[49] This universal principle is, of course, his own principle of least action,

> a principle so wise and so worthy of the supreme Being, and to which Nature appears to be constantly bound; which one observes not only in all changes, but in its constancy it still tends to observe it. In the collision of bodies, motion is distributed in such a way that the quantity of action is as small as possible, under the supposition that the change has occurred. In rest, the bodies that tend toward equilibrium have to be arranged in such a way that if they were to undergo a small movement, the quantity of action would be smallest.[50]

Every change and constancy in nature, Maupertuis explains, has an action associated with it, which can be defined as the product of mass, velocity, and distance. Maupertuis' definition of the PLA is similar to the one given in his optics paper[51], though, in a strange twist, he suggests that we must actually

49 With feigned modesty Maupertuis says «After all the great men who have worked on this matter, I almost dare not say that I have discovered the universal principle on which all these laws are founded; which extends equally to hard bodies and elastic bodies; on which the motion and rest of all corporeal substances depends». (MAUPERTUIS 1746, 286)

50 MAUPERTUIS 1746, 286

51 One of the *theoretical aims* in his previous work on optics was to subsume the three laws of optics under one higher *mathematical principle*. In 1746 the PLA is mainly seen as a cosmological-theological principle with *physical-ontological* content. His primary aim is not to unify a multitude of theoretical knowledge, but to reveal a unifying principle 'be-

consider the *distance travelled per unit time*. As Beeson points out, «the adoption of unit time is entirely arbitrary and unjustified by anything in the nature of the problem. Maupertuis resorts to it only because it gives him a convenient way to provide a quantity which he can identify».[52] The mathematical expression of the quantity of action thus becomes

$$Action_i = m_i \Delta v_i \Delta s_i = m_i (\Delta v_i)^2$$

and when there are more bodies involved in nature's change (i.e. in a collision) we need to take the sum of the respective action quantities as the price which nature needs to pay to realize some change. I will not present all the details of Maupertuis' mathematical argument here. The main idea has not changed. Maupertuis still maintains that «when a change occurs in Nature, the quantity of action necessary for that change is as small as possible».[53] In the case of hard body collisions, he easily deduces[54] that

$$m_1 (v_1 - v_f)^2 + m_2 (v_f - v_2)^2 \Rightarrow m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_f + m_2 v_f$$

which corresponds to the conservation of linear momentum. In the case of elastic collisions he used the same technique to deduce the final velocities u_1 and u_2 of the colliding bodies respectively,

$$m_1 (v_1 - u_1)^2 + m_2 (u_2 - v_2)^2 \Rightarrow \quad u_1 = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_1 + 2 m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

$$u_2 = \frac{2 m_1 v_1 - m_1 v_2 + 2 m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

which leads after some calculations[55] to the conservation of kinetic energy

hind' the diversity of natural phenomena.

52 BEESON 1992, 273.

53 MAUPERTUIS 1746, 286.

54 The symbol ⇒ signifies «by minimizing this expression we can deduce that»

55 Some of these calculations are presented in a clear way in the Appendix of BEESON 1992,

$$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_1 u_1^2 + m_2 u_2^2$$

In his third and final application of his principle Maupertuis seeks the point about which two bodies remain in equilibrium. If L is the total length of the lever and z is the distance of one mass to the fulcrum then the distance for the other mass is $L–z$. Next he observes that when the lever rotates slightly, the two masses describe geometrically similar arcs whose length is proportional to their respective distance from the point of rotation. Because for Maupertuis these arcs also represent their speeds per unit time, he can just apply a similar technique as before to deduce the equilibrium-point:

$$m_1 z_2 + m_2 (L-z)^2 \Rightarrow \; z = \frac{m_2 L}{m_1 + m_2}$$

With these three examples Maupertuis illustrates the strength and scope of his principle, but he even expected it to have a wider application:

> We may admire the applications of this principle in all phenomena: the movement of animals, the growth of plants, the revolutions of the planets, all are consequences of this principle. The spectacle of the universe seems all the more grand and beautiful and worthy of its Author, when one considers that it is all derived from a small number of laws laid down most wisely [that is, in accordance with the PLA].[56]

At this stage of his career, Maupertuis did not pursue these other domains[57]

p. 273-276.

56 Maupertuis 1746, 286-287.

57 Though he did not further develop his principle in other domains studying physical reality, one might say that Maupertuis was doing something ‘similar’ in his later moral philosophy where he introduced a *calculus of pleasure and pain*. In order to determine the good life and measure human happiness, Maupertuis proposed to consider the amount of pleasure and pain in terms of their intensity and duration. Taken together as a summation (over a whole life) this quantity should then be optimized in order to attain the good life. Even though his idea lacks precision, we do recognize a vague resemblance to the least-action principle.

(though Euler tried to apply it to the revolutions of the planets). Even though the principle of least action was Maupertuis' greatest accomplishment, it was only known to a limited audience. In order to make his ideas more known, he combined some of his previous material in his *Essai de cosmologie* (1750) which was meant for a broader audience.[58]

3. The compatibility of the mathematical and metaphysical aspects of the PLA

As has become clear from the previous discussion, the principle of least action has a Janus-face. On the one hand Maupertuis calls it a *principe métaphysique*, a fundamental principle directly dependent on the nature of God. On the other hand, he regards the PLA as a *mathematical principle* from which certain laws of nature can be deduced. As pointed out in the beginning of this paper, there is a certain tendency of commentators to prioritize the metaphysical aspect of Maupertuis' principle, and ascribe the proper mathematical formulation of the principle to his contemporary Euler or Lagrange. Such a perspective, however, begs the question as to how the mathematical and metaphysical 'fit together' in Maupertuis' own thought.

BEESON 1992 was the first to point out an important conceptual tension between the metaphysical and mathematical aspect of Maupertuis' account of the PLA. He remarks that in mathematical analysis one simply looks at zeroes of the 'derivative function' which algebraically comes down to the manipulation of symbols and solving an equation. But there is no mathematical reason why this procedure should yield a minimum.[59] Geometrically speaking, the

58 Cf. TERRALL 2012, 279 for a good discussion.

59 Whereas Maupertuis in his early work *Loi du repos des corps* (1740) speaks about minima

points on the curve[60] which satisfy this condition can be minima, maxima or inflexion points – these are all points where a function momentarily stops increasing or decreasing, i.e., where the first derivative is zero. From a purely mathematical point of view there is no intrinsic connection between extremum points and the human concept of economy. As Beeson puts it, in mathematics «nothing is being saved, held back, kept in reserve for some future application» and we should avoid interpreting «the quantities in question in terms of daily human experience».[61]

In addition to the conceptual dissonance, there is also a tension between the *a priori* and *a posteriori* status of the principle and the deductive link Maupertuis unconsciously seems to establish between the two levels. In his 1746 paper *Les lois du mouvement et du repos, déduites d'un principe de métaphysique*, Maupertuis writes that:

> I could have proceeded from the laws [of motion] given by mathematicians and confirmed by experience and looked there for marks of God's wisdom and power. […] I believe it is more certain and more useful to deduce these laws from the attributes of an all-powerful and all-wise being. If those that I find in this way are the same as those observed in the universe, would this not be the strongest proof that such a being exists and that he is the author of those laws?[62]

Maupertuis seems to suggest that the empirical-mathematical laws can be deduced from some *a priori* metaphysical-theological knowledge. However, we see no traces of such a strict deduction in Maupertuis' text[63]. One does find

and maxima (though, not about inflexion points), in his later work he only speaks about minima (which suits his interpretation of the principle of *least* action).

60 The curve we talk about here is not the trajectory of a moving body, but the curve representing the (equation of the) quantity of action.

61 Beeson 1992, 220, 268.

62 Maupertuis 1746, 305.

63 It is not completely clear if Maupertuis has in mind the contemporary meaning of de-

such an approach in Descartes' *Principia philosophiae* where the laws of motion are deduced in a strict logical manner from God's immutability. One might wonder if Maupertuis really intended to *deduce* the laws from God's two attributes (his power and wisdom) or that he only meant to deduce the laws of motion from the principle of least action which is, in a derivative sense, an expression of God's wisdom. Furthermore, one might wonder to which extent the principle of least action is something we can really know *a priori* (without relying on experience). Even though our understanding might have *a priori* an intuitive grasp of the metaphysical principle of simplicity or efficiency, Maupertuis for sure relied on experience to give the PLA its precise and quantitative formulation. I argue that Maupertuis' claim that we have some kind of *a priori* knowledge of the attributes of God (i.e. his wisdom qua wisdom) or the PLA (i.e. how this wisdom manifests itself in nature), and that from this knowledge we can deduce subsequently the physical laws of nature, is untenable. The mathematical expression depends on the nature of each problem, whereas the metaphysical version is a general statement which lacks determination. The difference between the universal and the particular, between the *a priori* and *a posteriori*, was also noticed by Euler who remarked that:

> we are still very far from that degree of perfection where we are able to assign, for each effect which nature produces the quantity of action which is the smallest, and deduce it from the first principles of our knowledge; and that it will be almost impossible to arrive at it unless we discover, for a great number of different cases, the formulas which become maximal or minimal.[64]

duction. Perhaps he only believes that the PLA can be confirmed in the laws of nature with the help of both mathematics and observation. Admittedly, his terminology is highly problematic.

64 Cf. the Appendix to Euler 1744.

For Euler the fundamental question was how the various mathematical forms of the principle, i.e. the formulas in statics referring to point masses and fluids, the formula for the curvature of a rod, and the formulas in dynamics are related to each other.[65] Stimulated by his correspondence with Maupertuis, Euler wanted to find a 'general mathematical form' behind the manifold of physical problems. Maupertuis did not pursue this mathematical question, and as pointed out above, his cosmological generalizations and theological claims were made in an intuitive *a priori* manner.

A third tension between the mathematical and metaphysical aspect of the PLA is provoked by the following passage of Maupertuis' 1746 paper:

> If it is true that the laws of motion and equilibrium are indeed absolutely necessary consequences of the nature of matter, that proves all the more the perfection of the supreme Being. Everything is so arranged that the blind logic of mathematics executes the will of the most enlightened and free Mind.[66]

One might wonder how the PLA can at the same time be a *logical mathematical necessity* and an expression of the *freedom of God*. Maupertuis seems to make this startling claim casually, but he had thought about the issue earlier in his career. In 1732 Maupertuis meditated in the work *Sur les loix de l'attraction* in a Leibnizian manner on Newton's inverse-square law of attraction. Without actually committing himself metaphysically – but always stating his reasoning conditionally – Maupertuis tried to understand God's possible reasons for choosing the particular form for the mathematical law:

> If God had wished to establish a law of attraction in nature, why would this law

65 Cf. BOUDRI 2013, 164-167 for a brief discussion of this topic.
66 MAUPERTUIS 1746, 303.

> follow the proportion that it seems to follow? […] In the infinity of different relations that seem to have an equal right to being at work in nature, was there some reason to prefer one over another?[67]

Maupertuis, after some reflection, suggests that the geometrical properties of the law can be associated with the criterion of uniformity. He notes that God must have wanted symmetrical macroscopic bodies like spheres «to exhibit the same property of attraction that characterized their smallest particles to attract in the same proportion on all sides».[68] After having established uniformity as a relevant criterion, Maupertuis remarks:

> Once the metaphysical reason for preference was posited, mathematical necessity excluded an infinite number of systems, in which there could not be agreement of the same law in the parts and in the whole.[69]

This passage makes intelligible how the freedom of God is reconcilable with the necessity of mathematics. In a quasi-Leibnizian manner, Maupertuis suggests that God is said to first choose among an infinity of possible worlds,[70] having a certain criterion in mind, namely, uniformity and symmetry of the laws of nature. But once such a world is chosen or actualized, the logic of mathematics determines the necessary form the laws of nature need to have. I argue that Maupertuis could have repeated this same argument in 1750. If the least action principle is indeed the expression of the free will and wisdom of God, the necessary mathematical form embodied in minimizing the quantity

67 MAUPERTUIS 1732, 346–47.

68 Cf. TERRALL 2002, 80-81 for a more elaborate discussion.

69 *Ibid.*, 347.

70 Whether Maupertuis would use the notion of possible worlds in exactly the same sense as Leibniz (as a logically possible collection of interconnected events) is unclear. We do, however, observe an important similarity here.

of action do not contradict the free choice of God but instead realize his choice and wisdom.[71]

In the fourth and last point of this section, we look more closely at the epistemological status of mathematical and metaphysical knowledge with respect to Maupertuis' *skepticism* and *phenomenalism*. It has been pointed out that Maupertuis radicalized the thought of Locke and Berkeley in order to counter the prevailing mechanistic and materialist philosophies.[72] Maupertuis claimed that we cannot have any certain knowledge of external objects – not even what *causes* our sensations – and that all our knowledge is just an ordering of the content of our mind. Maupertuis' skepticism and 'ultra-phenomenalism' (G. Tonelli), however, does not make him a relativist. In his 1756 paper *Examen philosophique de la preuve de l'existence de Dieu employee dans l'Essai de cosmologie* Maupertuis mentions the universal agreement among all men with respect to the propositions of mathematics, and in the first part of this work, *Sur l'evidence & la certitude mathématique*, he further elaborates on the demonstrative certainty of mathematics and its relevance for physics. According to Maupertuis, the certainty of mathematics is grounded in the homogeneity and replicability[73] of the elements with which the mathematician works (e.g.

71 This third point resolves the paradox in the above passage in ontological-modal terms (*how the world could have been or must have been*). The necessity of mathematics can also be addressed from an epistemological perspective (to which extent are mathematical propositions contingent or necessary with respect to the *knowing subject*). This perspective will be taken up in the fourth point above.

72 Cf. the monograph of TONELLI 1987. Also the article of GOSSMAN 1960 makes many interesting points, especially on the role of mathematics in Maupertuis' epistemology.

73 Cf. BEESON 1992 for a brief summary of this topic, i.e. «Mathematics deals with the clearest possible ideas, those of number and extent. These ideas share two properties distinguishing them from all others: one is that of being replicable, by which Maupertuis means that they can take any degree, being multiplicable or divisible any number of times; the other is that they alone are ideas that are supplied by more than one sense (extent is perceived by means of both sight and touch, number by all the senses). Maupertuis proposes that no other property is replicable (that is, quantifiable); those

number and extension).[74] However, mathematics is nothing more than a system of signs, referring to the forms of our perception, and provides no knowledge of (the nature of) external things, nor does it reflect some eternal Platonic truths. The same argument also holds for any physical science which bases itself on purely mathematical principles. Maupertuis says that if the laws of movement could be deduced from the propositions of arithmetic and geometry, they would be necessary laws, but only « du même genre de nécessité » as mathematical propositions themselves.[75] Hence, a purely mathematical reading of the PLA might at best produces a 'subjective necessity' within the human mind, but it cannot produce knowledge about the external physical world. We can, however, ask ourselves to which extent Maupertuis' metaphysical interpretation of the PLA – given his epistemology – is able to grasp physical reality.

In the *Essai de cosmologie* Maupertuis made the controversial claim that «the laws of motion and equilibrium [and by implication also the PLA] are indeed absolutely necessary consequences of the nature of matter».[76] The most vigorous attack against this statement was that of Samuel Reimarus, who in his 1754 book *Die vornehmsten Wahrheiten der natürlichen Religion* argued that the approach taken in Maupertuis' *Essai de cosmologie*, instead of proving the existence and wisdom of God, led to necessitarianism and Spinozism. In the

that seem so in fact possess sub-properties that are reducible to number or extent: for example, variations in the 'blueness' of a colour reflect variations in the quantities of indigo it contains. All this gives mathematics its particular qualities of certainty and self-evidence» (258)

74 « Dans les sciences mathématiques ou les objets, les nombres & l'étendue, sont exactement réplicables, on forme des résultats dont tout le monde convient; parce que c'est sur des sujets qui sont pour tout le monde précisément les mêmes: on est encore plus content de la manière dont soi-même on les conçoit; & c'est en cela que consiste l'évidence & la certitude » (MAUPERTUIS 1746, 399)

75 Cf. GOSSMAN 1960, 319.

76 MAUPERTUIS 1746, 303.

second part of his *Examen philosophique*, which we already mentioned, Maupertuis reconsidered some of his earlier statements and now says that we cannot make any claims about whether or not the laws of motion or the least-action principle are necessary properties of matter. This revised position coincides with his agnosticism of twenty year before. In his earlier work *Discours sur les différentes figures des astres* (1732) Maupertuis also addressed the question whether or not gravity is a necessary property of matter. His answer in 1756, with respect to the laws of motion or the PLA, is the same: we are unable to make such modal claims. Maupertuis, nonetheless, suggests that perhaps more knowledge about the nature of matter might show that least action is a necessary consequence of the essence of matter. But he argues that the same could be said of all known truths.[77] In search for a way out of this agnosticism, he proposes to present a history of the laws of mechanics. He discusses a variety of authors (Leibniz, Newton, Malebranche, Descartes, Huygens) and their respective experimental, metaphysical and mathematical commitments. Maupertuis admired Huygens' approach and following his attitude he started to refer to his least-action principle as an *empirical hypothesis*, «a law of nature supported by observational evidence rather than by abstract mathematical reasoning».[78] Taking these remarks in mind, during the last years of his life, we might wonder to which extent the PLA should still be called a metaphysical principle. As pointed out above, with 'metaphysical' Maupertuis does not mean a (metaphysical) claim about the necessary properties of matter, but perhaps he uses the word in a theological sense (i.e. concerned with the divine attributes). Beeson points out the importance of such a theological reading with respect to Maupertuis'

77 MAUPERTUIS 1756, part II, article LXXI, 424 ; BEESON 1992, 260, f51
78 Cf. MAUPERTUIS 1756, Article LXIX, 423 ; BEESON 1992, 260.

> man's incapacity to know anything with any certainty by his own powers brings him back into dependence on God. Yet, like the bedrock of certainty Descartes sought under the shifting sands of doubt, so through the dark glass of Maupertuis's phenomenalism can be glimpsed the one incontrovertible source of truth, God.[79]

It is possible that the principle of least action qua metaphysical-theological *principle* was for Maupertuis a rare but proper foundation for our knowledge about the fundamental nature of reality. This *metaphysical knowledge* is different in nature from empirical knowledge (which consists of an ordering of our sensations through language) and mathematical knowledge (which as we stated above only has a subjective necessity in our minds).

4. Conclusion

Whereas commentators either ignore or tend to take for granted the Janus-face of the PLA, I have tried to clarify the intricate relationship between the mathematical and metaphysical aspects of the principle. I have done so by approaching the issue from four different perspectives. First of all, I pointed out that on a purely conceptual level the mathematical and metaphysical interpretation do not collapse, since the mathematics involved not only yields minima, but also includes maxima and inflection points. Secondly, I discussed a tension between the *a priori* and *a posteriori* status of the principle. On the one hand the principle is an *a priori* intuition of the greatest generality but, on the other hand, its mathematical form depends on the nature of each

79 BEESON 1992, 160.

physical problem and thus requires experience. Thirdly, on the level of modality, there *prima facie* seemed to be a tension between the *necessity of mathematics* and the *freedom of God*, but I have suggested a way Maupertuis could have replied to this tension. Finally, by looking more closely to Maupertuis' *epistemology* another difference was revealed. Whereas mathematical knowledge only has a necessity restricted to the human mind, the metaphysical interpretation seemed to have a privileged theological-epistemological status, which for Maupertuis could possibly have been a way to break through the veil of his own skepticism and phenomenalism, and gain knowledge about the fundamental nature of external reality. To which extent Maupertuis was aware of all these tensions, we can only guess, but I hope that the historical perspective I have adopted has shed light on the complex interaction between philosophy and mathematics in eighteenth-century science.

YANNICK VAN DEN ABBEEL
VRIJE UNIVERSITEIT BRUSSEL

BIBLIOGRAPHY

AARSLEFF 1989 = HANS AARSLEFF, «The Berlin Academy under Frederick the Great», *History of the Human Sciences* 2:2 (1989), 193-206.

BEESON 1992 = DAVID BEESON, *Maupertuis. An Intellectual Biography*, Oxford, Voltaire Foundation at the Taylor Institution.

BERNOULLI 1747 = *Bernoulli-Edition Basel. Correspondence of Maupertuis with Johann II Bernoulli*, Basel, Universitätsbibliothek.

BOUDRI 2013 = J. CHRISTIAAN BOUDRI, *What was mechanical about mechanics: the concept of force between metaphysics and mechanics from Newton to Lagrange*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

BRUNET 1931 = PIERRE BRUNET, *L'Introduction des théories de Newton en France au XVIIIième siècle avant 1738*, Paris, Albert Blanchard.

CALINGER 1968 = RONALD S. CALINGER, «Frederick the Great and the Berlin Academy of Sciences», *Annals of Science* 24:3 (1968), 239-249.

CAPECCHI 2012 = DANILO CAPECCHI, *History of Virtual Work Laws: A History of Mechanics Prospective*, Milan, Springer.

CLARK 1999 = WILLIAM CLARK, «The Death of Metaphysics in Enlightened Prussia» in WILLIAM CLARK, JAN GOLINSKI, SIMON SCHAFFER (eds.), *The sciences in enlightened Europe*. University of Chicago Press.

DE GRAVE 1998 = PATRICIA R. DE GRAVE, « La moindre action comme lien entre la philosophie naturelle et la mécanique analytique », *Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas* 21 (1998), 439-484.

EULER 1744 = LEONHARD EULER, «Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes, sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti», *Opera Omnia,* I.24, 1744.

FEE 1941 = JEROME FEE, «Maupertuis, and the Principle of Least Action», *The Scientific Monthly*, 52:6 (1941), 496-503.

FEHER 1988 = MARIA FEHER, «The role of metaphor and analogy in the birth of the principle of least action of Maupertuis (1698–1759)», *International Studies in the Philosophy of Science*, 2:2 (1988), 175-188.

GERHARDT 1898 = CARL IMMANUEL GERHARDT, «Über die vier Briefe von Leibniz, die Samuel König in dem Appel au public, Leide MDCCLIII, veröffentlicht hat», *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften*, I (1898), 419-427.

HECHT 1999 = HARTMUT HECHT (ed.), *Pierre Louis Moreau de Maupertuis. Eine Bilanz nach 300 Jahren*, Berlin, Berlin-Verlag A. Spitz.

HECHT 2001 = HARTMUT HECHT, «Leibniz' Concepts of Possible Worlds & the Analysis of Motion in Eighteenth-Century Physics» in WOLFGANG LEFEVRE (ed.), *Between Leibniz, Newton and Kant: Philosophy & Science in the Eighteenth Century*, Boston, Kluwer Academic Publisher, 27-45.

HIEBERT 1962 = ERWIN N. HIEBERT, *Historical Roots of the Principle of Conservation of Energy*, The State Historical Society of Wisconsin, University of Wisconsin.

HIRSCHMANN 1987 = DAVID HIRSCHMANN, «The Kingdom of Wisdom and the Kingdom of Power in Leibniz», *Proceedings of the Aristotelian Society* 88 (1987), 147-159.

JOURDAIN 1912 = PHILIP E. B. JOURDAIN, «Maupertuis and the Principle of Least Action», *The Monist* 22:3 (1912), 414-459.

KABITZ 1913 = Willy Kabitz, «Über eine in Gotha aufgefundene Abschrift des von S. König in seinem Streite mit Maupertuis und der Akademie veröffentlichten, seinerzeit für unecht erklärten Leibnizbriefes», *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften*, II (1913), 632-638.

LANDAU & LIFSHITZ 1969 = LEV LANDAU, EVGENY LIFSHITZ, *Mechanics (A Course of Theoretical Physics: Volume 1)*, Oxford, Pergamon Press.

LEDUC 2015 = CHRISTIAN LEDUC, « La métaphysique de la nature à l'Académie de Berlin », *Philosophiques* 42:1 (2015), 11-30.

LEIBNIZ 1890 = GOTTFRIED WHILELM LEIBNIZ, «Tentamen Anagogicum» in CARL IMMANUEL GERHARDT (ed.), *Die philosophischen Schriften*, volume 7, Berlin, Weidmann.

LINDT 1904 = RICHARD LINDT, «Das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten», *Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik* 18 (1904), 145-195.

MAUPERTUIS 1732 = PIERRE-LOUIS MOREAU MAUPERTUIS, « Sur les loix de l'attraction », *Histoire de l'Académie Royale des Sciences de Paris* (1732), 343-362.

MAUPERTUIS 1740 = PIERRE-LOUIS MOREAU MAUPERTUIS, « Loi du repos des corps », *Histoire de l'Académie Royale des Sciences de Paris* (1740), 170-176.

MAUPERTUIS 1744 = PIERRE-LOUIS MOREAU MAUPERTUIS, « Accord de différentes loix de la nature qui avoient jusqu'ici paru incompatibles », *Histoire de l'Académie Royale des Sciences de Paris* (1744) [1748], 417-426.

MAUPERTUIS 1746 = PIERRE-LOUIS MOREAU MAUPERTUIS, « Les Loix du mouvement et du repos déduites d'un principe métaphysique », *Histoire de l'Académie des Sciences et Belles Lettres de Berlin* (1746) [1748], 267-294.

MAUPERTUIS 1750 = PIERRE-LOUIS MOREAU MAUPERTUIS, *Essai de cosmologie*, Berlin, s.n.

MAUPERTUIS 1756 = PIERRE-LOUIS MOREAU MAUPERTUIS, « Examen philosophique de la preuve de l'existence de Dieu employée dans L'essai de cosmologie », *Histoire de l'Académie des Sciences et Belles Lettres de Berlin* (1756) [1758], 389-424.

PANZA 1995 = MARCO PANZA, «From nature that economizes to generous forces: the principle of least action between mathematics and metaphysics, Maupertuis and Euler, 1740-1751», *Revue d'Histoire des Sciences* 48:4 (1995), 435-520.

PULTE 1989 = HELMUT PULTE, *Das Prinzip der kleinsten Wirkung und die Kraftkonzeptionen der rationalen Mechanik. Eine Untersuchung zur Grundlegungsproblematik bei Leonhard Euler, Pierre Louis Moreau de Maupertuis und Joseph Louis Lagrange (Studia Leibnitiana 19)*, Stuttgart, Franz Steiner Verlag.

SHANK 2004 = J.B. SHANK, «There Was no Such Thing as the 'Newtonian Revolution', and the French Initiated It. Eighteenth-Century Mechanics in France before Maupertuis», *Early Science and Medicine* 9:3 (2004), 257-292.

SHANK 2008 = J.B. SHANK, *The Newton Wars and the Beginning of the French Enlightenment*, University of Chicago Press.

STÖLTZNER 2003 = MICHAEL STÖLTZNER, «The principle of least action as the logical empiricist's Shibboleth», *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 34:2 (2003), 285-318.

TERRALL 1992 = MARY TERRALL, «Representing the Earth's Shape: The Polemics Surrounding Maupertuis's Expedition to Lapland», *Isis* 83:2 (1992), 218-237.

TERRALL 2002 = MARY TERRALL, *The Man Who Flattened the Earth: Maupertuis and the Sciences in the Enlightenment*. Chicago, University of Chicago Press.

TONELLI 1987 = GIORGIO TONELLI, *La pensée philosophique de Maupertuis. Son milieu et ses sources*, New York, G. Olms.

YOURGRAU, MANDELSTAM 1960 = WOLFGANG YOURGRAU, STANLY MANDELSTAM, *Variational Principles in Dynamics and Quantum Theory*, Pitman Publishing corporation, New York (1st ed. 1955).

MAUPERTUIS ET LE MATHÉMATISME PHILOSOPHIQUE

MARCO STORNI

1. Temps de controverses à l'Académie de Berlin

L'une des plus grandes controverses philosophiques du XVIII^e siècle eut pour théâtre Berlin, après la réforme de l'Académie royale des sciences de Prusse confiée par Frédéric II au savant français Pierre-Louis Moreau de Maupertuis. Il s'agit de la grande controverse sur les monades leibniziennes, occasionnée par le concours organisée en 1746 par l'Académie berlinoise, le tout premier de la présidence de Maupertuis[1]. La classe qui organisait la compétition était celle de philosophie spéculative[2], et la question était formulée dans les termes suivants :

> On demande, qu'en commençant par exposer d'une manière exacte et nette la doctrine des monades, on examine si d'un côté elles peuvent être solidement réfutées et détruites par des arguments sans réplique ; ou si de l'autre on est en état, après avoir prouvé les monades, d'en déduire une explication intelligible des principaux phénomènes de l'univers, et en particulier de l'origine et du

1 VON HARNACK 1901, 264-265.

2 L'Académie de Berlin était la seule institution de ce genre dans toute l'Europe à avoir une classe de philosophie spéculative : cf. ANCILLON 1815, 67 : « L'Académie de Berlin est la seule qui ait une classe particulière pour la philosophie spéculative ou rationnelle. Tandis que des autres sociétés savantes de l'Europe, les unes n'ont d'autre objet que la science de l'étendue et des quantités, ou celle des faits et des lois de la nature, que d'autres se vouent au perfectionnement de la langue, aux progrès de la poésie et de l'éloquence, ces sublimes effets du langage, et à la recherche des faits de l'homme et des souvenirs de l'antiquité ; l'Académie de Berlin, digne fille du grand Leibniz, digne représentant de la pensée nationale, a toujours consacré avec raison une section de ses membres à la science des sciences. »

Noctua, anno IV, n. 1-2, 2017, ISSN 2284-1180

mouvement des corps.[3]

La compétition était toutefois viciée par l'ingérence de Leonhard Euler, directeur de la classe de mathématiques, qui, comme le disait Christian Wolff dans une lettre écrite à Maupertuis le 1er juillet 1747, « avait […] prescrit à ceux qui se bercent de l'espoir d'obtenir le prix, le mode d'après lequel Leibniz et moi devions être réfutés.[4] » Pour bien saisir la mesure de l'exaspération de Wolff, nous pouvons citer une autre lettre encore, qu'il envoya à Maupertuis quelques mois auparavant, le 15 novembre 1746 : « Or nous voyons maintenant un de vos membres [Euler] imposer la réfutation, vous tracer même d'avance le mode de réfutation et de cette façon vous détruisez la liberté de philosopher.[5] » De nombreux indices semblent indiquer l'hostilité de la plupart des membres de l'Académie envers la métaphysique des monades – son Président Maupertuis ne faisant pas exception. C'était déjà la manière dont la question était formulée qui pouvait effectivement en faire douter : on demandait d'abord si les monades pouvaient être réfutées, et non pas si elles pouvaient être démontrées ; et dans le cas où on était en mesure d'en établir l'existence, il fallait aussi en déduire les lois fondamentales de la physique. En somme, la charge de la preuve était du côté des partisans des monades.[6]

Il est désormais clair que les deux factions se trouvant opposées dans cette controverse étaient, d'un côté, celle de Wolff et de son école et, de l'autre

3 BARTHOLMÈSS 1851, 255-256.
4 LE SUEUR 1896, 431.
5 *Ibid.*, 428.
6 Cf. CASINI 2000, 275 : « L'avis de concours ne se limitait pas à formuler une question, mais en suggérait aussi la solution […]. Une telle formulation impliquait deux réponses, qu'on pourrait ainsi résumer : 1) À la lumière de l'expérience, la métaphysique des monades doit être considérée absurde et impossible à prouver ; 2) La théorie du mouvement des corps doit être fondée sur des principes tout à fait mécaniques, dans un sens newtonien. Tel fut en effet le résultat du concours […]. »

côté, celle des savants newtoniens travaillant au sein l'Académie prussienne après la réforme de 1746. Bien que l'objet spécifique du concours est la théorie de monades, cette question particulière renvoyait néanmoins à une opposition plus profonde et radicale entre les deux partis en lutte. La monadologie wolffienne, en effet, doit être lue dans le cadre d'une démarche philosophique tendant à une rationalisation extrême (sans pourtant négliger l'apport de l'expérience[7]), qui mettait l'accent sur l'affinité entre la forme du raisonnement mathématique et philosophique. L'association entre mathématiques et philosophie représente un point méthodologique central de la pensée wolffienne, peut-être même plus que la théorie des monades[8]. C'est pourquoi la polémique des newtoniens se concentrera sur cet aspect aussi. Comme Voltaire l'écrivait à Maupertuis dans la lettre du 10 août 1741, l'accusation principale portée contre Wolff et ses disciples était celle de « [ramener] en Allemagne toutes les horreurs de la scolastique »[9], à savoir de proposer un modèle de scientificité plus simulée que réelle.

Dans cette contribution, nous allons d'abord insister sur les raisons de l'opposition des newtoniens à la philosophie de Wolff. Dans ce contexte, une importance toute particulière sera accordée aux positions d'Euler et de Maupertuis. L'histoire de la controverse berlinoise demeurant encore peu connue, il nous semble opportun d'en rappeler les motifs principaux ainsi que l'évolution. Nous procéderons ensuite à une confrontation entre les positions de Wolff et de Maupertuis sur le rapport entre méthode mathématique et philosophique. Notre analyse cherchera à montrer l'existence chez Maupertuis d'une tentative d'appliquer la méthode mathématique à d'autres disciplines

7 Cf. Marcolungo 1992, 18-19.
8 Cf. Rey 2013, 136.
9 Voltaire 1965, 523.

que les mathématiques elles-mêmes ; ce qui nous permettra de nuancer quelque peu son opposition à la philosophie wolffienne, dont on a toujours souligné la radicalité. Nous clarifierons enfin les affinités et les divergences entre les démarches de Wolff et de Maupertuis, en essayant de montrer que les véritables raisons de leur opposition doivent plutôt être cherchées dans leurs épistémologies et métaphysiques respectives.

2. Euler et Maupertuis critiques de Wolff

Dans sa lettre à Maupertuis du 18 juillet 1747, Wolff déclare explicitement ne pas vouloir « engager avec personne aucune controverse », puisqu'il « laisse à chacun l'entière liberté de sa décision, bien [qu'il se serve] de cette même liberté avec grande modération »[10]. La raison d'une telle attitude est manifeste : la raison humaine chez Wolff ne consistant que dans la computation, les conclusions auxquelles elle parvient ne peuvent être que vraies ou fausses, *tertium non datur*. Wolff vise en effet à supprimer totalement l'élément rhétorique de la philosophie[11], à savoir la possibilité que les conclusions des arguments ne soient que probables ou vraisemblables. Ainsi, dans le *Discours préliminaire sur la philosophie en général* (1728), il affirme que quelqu'un qui « philosophe selon la méthode philosophique, n'a pas besoin de réfuter les pensées opposées » car il « n'admet pas comme vraie de proposition qu'il ne soit en mesure de tirer de principes qu'il a suffisamment prouvés », et aussi parce qu'il « distingue les [choses] probables des [choses] certaines et n'utilise pas d'hypothèses comme principes en démontrant ses dogmes »[12]. En

10 Le Sueur 1896, 436.
11 Cf. Wolff 1728, trad. fr. Wolff 2006, 191 : « De là s'ensuit que *le philosophe doit refuser l'ornement des mots qui plaît aux orateurs*. En effet, cet ornement consiste soit en mots impropres, soit en ambages et en circonlocutions […]. »
12 *Ibid.*, 210-211.

philosophie, Wolff en conclut qu'« il faut aspirer à la certitude complète de sorte qu'absolument rien de douteux ne subsiste […], afin que personne ne puisse à bon droit te reprocher quoi que ce soit »[13].

Du côté opposé, la position des newtoniens de l'Académie de Berlin face aux controverses philosophiques était *toto caelo* différente. Exemplaire en ce sens est le cas d'Euler[14]. Dans ses *Lettres à une princesse d'Allemagne sur divers sujets de physique et de philosophie* (1768), le savant évoque les événements les plus significatifs de la controverse sur les monades, en mettant l'accent sur les aspects de désaccord et de conflit :

> Il y eut un temps où la dispute des monades était si vive et générale, qu'on en parlait avec beaucoup de chaleur dans toutes les compagnies, et même dans les corps de garde. À la cour il n'y avait presque point de dames qui ne se fussent déclarées, ou pour, ou contre les monades. Enfin partout le discours tombait sur les monades, et on ne parlait que de cela.[15]

Euler semble attribuer une telle mobilisation générale à la nature philosophique des sujets débattus. Au début de la lettre CXXV, *De la fameuse dispute sur les monades*, il affirme que « quand on parle dans les compagnies de matières de philosophie, les discours roulent ordinairement sur des articles qui ont occasionné de grandes disputes parmi les philosophes.[16] » Du point de vue d'Euler, les questions philosophiques[17] ne peuvent pas être réglées,

13 *Ibid.*, 156.
14 Pour une analyse détaillée de la position d'Euler face au monadisme, cf. LEDUC 2013.
15 EULER 1812, 47.
16 *Ibid.*, 47.
17 Il faudrait évidemment préciser ce qu'Euler entend par « philosophie » : pour ce faire, nous pourrions nous référer à la division en classes de l'Académie de Berlin, mise en place par Maupertuis selon des critères proches de la sensibilité eulerienne. Comme l'écrit Maupertuis dans son discours *Des devoirs de l'académicien* (1746), « La *philosophie expérimentale* avait examiné les corps tels qu'ils sont, revêtus de toutes leurs propriétés sensibles : la *mathématique* les avait dépouillés de la plus grande partie de ces propriétés :

contrairement à ce qu'en disait Wolff, avec une certitude égale à celle des mathématiques. L'entreprise philosophique *qua talis* est caractérisée, d'après Euler, par une rigueur tout à fait mineure que celle des sciences exactes.

Quelques pages plus loin, en analysant l'histoire du concours organisé par l'Académie, Euler ne manque pas d'ironiser sur l'attitude dogmatique dont Wolff, à son avis, était l'exemple par excellence : « Cette démarche de l'Académie a terriblement irrité les partisans des monades, à la tête desquels se trouvait le grand et fameux M. Wolff, qui ne prétendait pas être moins infaillible dans ses décisions que le Pape.[18] » Que Wolff n'était pas infaillible dans ses décisions, insiste Euler, ressort clairement du résultat final de la controverse[19]. L'argumentation eulerienne destinée à réfuter la doctrine adversaire se fonde sur la validité pratique de la géométrie, discipline qui, dit-il, serait détruite si l'on supposait que les monades existent réellement. « Les partisans des monades – affirme-t-il – pour soutenir leur sentiment, sont obligés de dire que les corps ne sont pas étendus, et qu'ils n'ont qu'une étendue apparente.[20] » Mais si notre idée de l'étendue, poursuit-il, était « donc tout à fait imaginaire et chimérique », la géométrie serait donc « une spéculation entièrement inutile et illusoire, et elle n'admettrait jamais aucune application aux choses qui existent réellement au monde »[21]. Ainsi Wolff, qui se revendiquait défenseur de la géométrie (et de l'universalité de la méthode

---

la *philosophie spéculative* considère des objets qui n'ont plus aucune propriété des corps. L'Être suprême, l'esprit humain, et tout ce qui appartient à l'esprit, est l'objet de cette science. La nature des corps mêmes, en tant que représentés par nos perceptions, si encore ils sont autre chose que ces perceptions, est de son ressort » (MAUPERTUIS 1768(3), *Discours académiques*, 293-294).

18 EULER 1812, 49.

19 La pièce qui gagna le concours de l'Académie de Berlin est celle de Henri Gottlob Justi, adversaire du monadisme. Cf. BONGIE 1994, 31-34.

20 EULER 1812, 51.

21 *Ibid*.

géométrique), semblait vaincu sur son propre terrain : « Car si rien n'est étendu, à quoi bon approfondir les propriétés de l'étendue ? Mais puisque la géométrie est sans contredit une des sciences les plus utiles, il faut bien que son objet ne soit pas une pure chimère.[22] »

Du même avis qu'Euler semblait être Maupertuis, Président de l'Académie prussienne. Il suffit de penser au jugement qu'il prononça sur les philosophies de Leibniz et de Wolff dans ses *Lettres* de 1752. Dans la lettre VII *Sur les systèmes*, Maupertuis attaque frontalement le système leibnizien, ou plutôt la systématisation de la pensée de Leibniz mise en place par ses disciples : « Quelquefois, sans faire des systèmes, des hommes célèbres n'ont pas fait moins de tort aux sciences. Toutes leurs paroles ont été prises par des sectateurs trop zélés, pour des oracles.[23] » C'est précisément le cas de Leibniz, qui « après une réputation justement acquise […] hasarda quelques pensées qui auraient fait tort à un homme médiocre : elle firent la plus grande fortune […].[24] » Voyons donc contre quelles idées en particulier se dirige la critique de Maupertuis.

> Il [Leibniz] avait dit *que rien n'était sans raison suffisante*. Cela signifie qu'il y a toujours quelque cause pour laquelle une chose est telle qu'elle est : et je ne crois pas que personne en ait jamais douté. On fit de la *raison suffisante* une nouvelle découverte ; un principe fécond qui conduisait à mille vérités jusque-là inconnues. Car les Allemands croient encore bonnement que par là ils ont gagné plusieurs siècles sur les Français et sur les Anglais.[25]

Mais ce n'est pas seulement le succès du principe de raison suffisante qui suscite la réprobation de Maupertuis : dans la même lettre, les thèses de l'harmo-

22 *Ibid.*
23 MAUPERTUIS 1768(2), *Lettres*, 257.
24 *Ibid.*, 258.
25 *Ibid.*

nie préétablie et de l'existence des monades sont également mentionnées. En ce qui concerne la monadologie, Maupertuis rend explicite ceux qui, d'après lui, sont les défauts majeurs d'une telle conception métaphysique : « Comme [le système leibnizien] est fondé sur des êtres invisibles, qui ne manifestent ni ne sont démentis par aucuns phénomènes, il sera toujours impossible de démontrer qu'il n'y a pas dans la nature de tels êtres.[26] » Dans ce même passage, le savant mentionne « un ouvrage excellent qui parut il y a trois ans », où « l'inconsistance et les défauts »[27] du système leibnizien avaient été clairement prouvées : il s'agit évidemment du *Traité des systèmes* (1749) d'Étienne Bonnot de Condillac, référence centrale pour toute la pensée des Lumières[28].

L'ardeur polémique de Maupertuis ressort encore plus clairement de la lettre VIII *Sur les monades*. En premier lieu, l'analyse de la genèse de l'esprit systématique que Maupertuis y présente est très intéressante : « Un homme célèbre propose quelques idées ; ses sectateurs et ses adversaires travaillent également à en former un système […] : et le système à la fin prend le tour que lui donne le concours fortuit des objections et des défenses.[29] » Quelques lignes plus loin, c'est encore la conception leibnizienne des monades qui tombe sous la critique du savant. En se référant à une exposition posthume, *more geometrico demonstrata*, de la *Monadologie* de Leibniz[30], Maupertuis se demande ironiquement :

> Quand il [Leibniz] disait […] que dans sa tasse de café il y avait peut-être une foule de monades qui feraient un jour des âmes humaines, ne semblait-il pas les

26 *Ibid.*, 260.
27 *Ibid.*
28 CONDILLAC 1749.
29 MAUPERTUIS 1768(2), *Lettres*, 263-264.
30 Il s'agit des *Godefridi Guilielmi Leibnitii Principia Philosophiae More Geometrico Demonstrata* par Michael Gottlieb Hansch : cf. HANSCH 1728.

> regarder comme des êtres nageant dans son café, ou comme le sucre lorsqu'il y est dissous ?[31]

En définitive, le jugement de Maupertuis sur la doctrine des monades semble être sans appel : il s'agit d'entités dont l'existence ne peut pas être démontrée par des preuves empiriques et qui relèvent donc – comme le disait Kant en parlant de Swedenborg – des *rêves de la métaphysique*[32].

D'autre part, en lisant plus attentivement les textes de Maupertuis, il apparaît ques la radicalité de son opposition à la doctrine de Leibniz s'avère être assez moins marquée qu'elle pouvait paraître à première vue. Le passage suivant, tiré de la lettre VIII, semble nous le confirmer :

> [Les monades] pouvaient n'être dans leur principe que les premiers éléments de la matière, doués de perception et de force. Des adversaires opiniâtres ont obligé les monadistes à dire que les monades sont des êtres invisibles […] et les ont réduits jusqu'à se réfugier eux-mêmes dans leurs monades[33].

Maupertuis fait apparemment allusion à une bonne façon d'entendre la notion de monade, entendue comme entité matérielle, douée de certaines facultés spirituelles. Les monades, au sens propre du terme, dit Maupertuis, ne sont donc pas « des êtres invisibles » mais des objets dont l'existence peut se déduire directement de l'expérience sensible. Rien n'exclut donc la possibilité d'une bonne monadologie, fondée sur des principes intelligibles, voire empiriquement contrôlables. En définitive, ce n'est pas tant la monadologie à en tant que telle qui suscite l'aversion de Maupertuis, mais plutôt celle

---

31 MAUPERTUIS 1768(2), *Lettres*, 262-263.

32 Nous faisons référence aux *Träume eines Geistersehers, erläutert durch Träume der Metaphysik* [*Les Rêves d'un visionnaire éclaircis par les rêves de la métaphysique*] de 1766.

33 MAUPERTUIS 1768(2), *Lettres*, 264.

élaborée par Leibniz et ses épigones.

Il en va de même pour ce que nous avons appelé « mathématisme philosophique » dans le titre de cette contribution[34]. Comme nous allons le préciser dans le paragraphe suivant – consacré lui au « mathématisme philosophique de Wolff » – nous désignons par cette expression l'idéal (typiquement wolffien) de soumettre le savoir humain dans son entier à la rigueur méthodologique des mathématiques, impliquant ainsi à la fois un enchaînement rigoureux de toutes les idées entre elles[35] et l'exposition des contenus organisée selon l'ordre employé dans les traités de géométrie (pensons aux *Éléments* d'Euclide)[36]. Bien que Maupertuis n'ait consacré aucun travail à une réfutation systématique du mathématisme, une lecture croisée de ses ouvrages peut bien nous donner la mesure de son aversion pour cette démarche. En répondant à Nicolas Boindin, qui avait formulé des critiques contre ses *Réflexions philosophiques sur l'origine des langues et la signification des mots*

34 Le terme de « mathématisme » est ici utilisé dans un sens différent de celui qu'Ange Pottin lui donne dans l'article « Mathématisme et tourbillons dans les *Principes de la Philosophie* de Descartes », publié dans ce même recueil. L'on trouvera dans les pages suivantes une explication détaillée de ce que nous entendons par « mathématisme » dans la présente contribution.

35 Afin que rien n'ayant un rapport déterminé avec tout le reste soit admis comme vrai. Notons comme l'instance de l'ordre, de l'enchaînement et de l'énumération méthodique des idées s'inscrit dans une tradition qui remonte du moins aux *Regulæ ad directionem ingenii* de Descartes : AT, X, *Règles pour la direction de l'esprit*, 349-469, réédité dans DESCARTES 2012 ; notamment Règles V, VI et VII (AT, X, 379-392 ; DESCARTES 2012, 29-45). Sur cet aspect de la méthode cartésienne, cf. DONNA 2015, 31-36.

36 En discutant de la méthode mathématique et de son application aux questions philosophiques, nous avons privilégié la référence à la géométrie euclidienne, en tant qu'exemple paradigmatique de rigueur logique. Il ne faut pourtant pas oublier que les nombreuses discussions autour de la rigueur des mathématiques à l'âge classique n'ont guère eu le *corpus* euclidien par référence exclusive. Songeons notamment au débat sur analyse et synthèse, provenant de la lecture controversée d'un passage de la *Collection mathématique* de Pappus d'Alexandrie (VII, 1-3, cf. PAPPUS 1986, 82-85), ainsi qu'aux nouveaux problèmes posés par le développement du calcul infinitésimal. Cf. BOS 2001 (notamment les chapitres 3, 4 et 28) et, surtout, GUICCIARDINI 2009.

(1740)[37], Maupertuis écrivait :

> [Boindin] a peut-être cru que je voulais imiter quelques philosophes de ce temps, qui, pour faire passer leurs ouvrages pour géométriques ou démontrés, affectent de mettre des figures et de l'algèbre là où ils ne disent rien moins que des choses qui en aient besoin, ou qui en soient susceptibles. M. Boindin ne pouvait trouver cette manière d'écrire plus ridicule que je la trouve moi-même […].[38]

Peut-être encore plus éloquente à cet égard se trouve être un passage de la première partie de l'*Essai de Cosmologie* (1750) :

> Jusqu'ici la mathématique n'a guère eu pour but que des besoins grossiers du corps, ou des spéculations inutiles de l'esprit : on n'a guère pensé à en faire usage pour démontrer ou découvrir d'autres vérités que celles qui regardent l'étendue et les nombres ; car il ne faut pas s'y tromper dans quelques ouvrages, qui n'ont de mathématique que l'air et la forme, et qui au fond ne sont que de la métaphysique la plus incertaine et la plus ténébreuse. L'exemple de quelques philosophes doit avoir appris que les mots de *lemme*, de *théorème*, et de *corollaire*, ne portent pas partout la certitude mathématique ; que cette certitude ne dépend, ni de ces grands mots, ni même de la méthode que suivent les géomètres, mais de la simplicité des objets qu'ils considèrent.[39]

À première vue, ces prises de position maupertuisiennes pourraient suggérer un rapprochement avec la conception d'Euler évoquée précédemment. C'est d'ailleurs ce que plusieurs historiens ont fait dans leurs expositions de l'histoire de la controverse berlinoise[40]. À notre avis, toutefois, le discours de Maupertuis diffère de celui d'Euler sur un point capital.

---

37 La datation classique des *Réflexions philosophiques* en 1748 a été démentie par David Beeson dans un article de 1987 (Beeson 1987). La nouvelle datation n'est pourtant pas acceptée par tous les interprètes : cf. Terrall 2002, 374.

38 Maupertuis 1768(1), *Réflexions philosophiques sur l'origine des langues et la signification des mots*, 295.

39 Maupertuis 1768(1), *Essai de cosmologie*, 21-22.

40 Pour ne donner qu'un seul exemple, cf. Calinger 1969, 319-330.

Comme dans le cas du concept de monade, il n'est pas question chez Maupertuis de déclarer *a priori* fausse voire nuisible au développement des sciences l'idée d'appliquer la méthode mathématique à d'autres domaines que les mathématiques elles-mêmes. Preuve en est que, dans le passage que nous venons de citer, Maupertuis affirme explicitement que l'« on n'a guère pensé à en faire usage [des mathématiques] pour démontrer ou découvrir d'autres vérités que celles qui regardent l'étendue et les nombres ». Cela semble donc impliquer la possibilité d'utiliser les procédés des mathématiques pour découvrir d'autres vérités que celles qui regardent l'étendue et les nombres. Nous montrerons ensuite de quelle manière il est possible de retrouver un tel travail dans l'œuvre de Maupertuis. Avant de faire cela, il semble pourtant nécessaire de s'interroger sur ce que « méthode mathématique » signifie dans le contexte de la présente discussion, et aussi ce que l'on entend par l'application de cette méthode à l'étude des problèmes philosophiques. Comme nous l'avions annoncé, nous allons d'abord étudier la méthodologie wolffienne, puisqu'elle représente une pierre angulaire de la réflexion sur la méthode mathématique en philosophie au XVIII^e^ siècle. Enfin, nous étudierons le cas de Maupertuis.

3. Le mathématisme philosophique de Wolff

Nous n'allons pas discuter ici de tous les aspects de la question de la méthode mathématique chez Wolff, puisque cela dépasserait largement les objectifs de la présente contribution. Nous nous limiterons à en rappeler brièvement les aspects les plus significatifs.

Chez Wolff, la méthode mathématique représente le modèle concret pour tout autre domaine de la connaissance humaine.[41] Comme il l'écrit dans son *Discours préliminaire sur la philosophie en général*, « nul ne s'étonnera de l'identité des méthodes philosophique et mathématique, sinon celui qui ignore d'où l'on dérive les règles de l'une et de l'autre »[42]. En effet, il ne s'agit pas pour Wolff de transposer d'une manière forcée les procédés des mathématiques à d'autres disciplines, mais plutôt de reconnaître qu'une même logique est à la base de toute production de l'esprit. « La philosophie – comme il s'exprime – n'emprunte pas sa méthode à la mathématique mais la puise, de même que la mathématique, de la logique plus vraie »[43]. L'intuition fondamentale du philosophe consiste à identifier la forme originaire du raisonnement naturel, ainsi que la forme des démonstrations mathématiques, avec le syllogisme (de la première figure)[44]. En ce sens, l'idée de généraliser la méthode mathématique se traduit dans l'effort de ranger les contenus de toute discipline selon un ordre déductif rigoureux, réfléchissant la structure logico-computationnelle qui est également à la base du raisonnement mathématique. La liste des sources possible pour l'élaboration de cette doctrine est évidemment bien longue : des cercles encyclopédiques allemands du XVII[e] siècle[45] à la pensée de Leibniz, ou également à la conception d'une *philosophia mathematica* proposée par Erhard Weigel[46].

L'idéal wolffien de la science implique donc une connexion systématique entre les idées de l'intellect, qui doit évidemment se concrétiser dans

41 MARCOLUNGO 1992, 13.
42 WOLFF 1728, trad. fr. WOLFF 2006, 176.
43 *Ibid.*, 177.
44 Dans le syllogisme de la première figure, le moyen terme est le sujet de la prémisse majeure et le prédicat de la prémisse mineure. Sur la place du syllogisme dans la logique wolffienne, cf. DUNLOP 2012, 461b.
45 Nous nous référons notamment au cercle encyclopédique animé par Johann Heinrich Alsted et par Jean Amos Comenius à Herborn : cf. ROSSI 1983, 199-211.
46 Cf. PACCIONI 2006, 38-43.

une exposition rigidement ordonnée des contenus. Les mathématiques deviennent alors tout de même un modèle de présentation rigoureuse des arguments, selon la démarche du *more geometrico* : « Les mathématiciens commencent donc par les définitions ; il passent ensuite aux axiomes et aux postulats ; sur ceux-ci ils bâtissent les théorèmes et les problèmes »[47]. Les deux aspects, celui de l'ordre intrinsèque et celui de l'ordre apparent, sont en effet deux faces de la même médaille : un enchaînement rigoureux des contenus philosophiques ne pourrait pas se manifester comme une exposition désordonnée et approximative.

C'est toutefois le rapport entre ces deux niveaux à représenter l'un des problèmes les plus délicats pour la pensée wolffienne. Une difficulté que plusieurs objecteurs avaient soulevée contre une telle organisation des arguments, et qui sera à l'origine des critiques formulée contre Wolff dans les controverses berlinoises des années 1740, était justement celle que la méthode mathématique concerne la simple forme extérieure des arguments, sans rien toucher aux contenus eux-mêmes[48]. L'ordre géométrique de ses traités paraît être rien d'autre qu'un camouflage pour une rigueur qui n'existait guère. Pire, certains passages des ouvrages wolffiens eux-mêmes semblaient parfois suggérer que la méthode mathématique se réduise en effet à être *methodus docendi*. Comme Wolff l'écrit dans les *Elementa matheseos universæ* (1713), « par méthode mathématique j'entends l'ordre (*ordinem)*, que les mathématiciens suivent dans la *communication* de leurs doctrines »[49]. Si les choses sont ainsi, la méthode mathématique serait rien d'autre qu'un artifice rhétorique, dont l'utilité résiderait exclusivement dans son efficacité persuasive.

47 WOLFF 1742, *De methodo mathematica brevis commentatio*, 5.
48 Cf. BASSO 2004, 25-26.
49 WOLFF 1742, *De methodo mathematica brevis commentatio*, 5 (nous soulignons).

4. Le mathématisme philosophique de Maupertuis

Venons-en désormais à Maupertuis. Il n'existe pas un seul ouvrage dans lequel Maupertuis manifeste son intérêt pour l'application des méthodes empruntées aux sciences mathématiques en dehors des mathématiques elles-mêmes. Nous pourrions considérer les *Réflexions philosophiques*, que nous mentionnions plus haut, comme un exemple de « géométrisation » du langage, dans le sens où l'auteur y propose une généalogie des langues naturelles selon un schéma rigidement calculatoire : les premières expressions signifiantes, dérivées des premières sensations, sont représentées comme des atomes, qui peuvent être combinés pour en faire résulter un langage. Nous pouvons donc bien comprendre le sens de l'allusion que fait Rousseau dans son *Essai sur l'origine des langues* (1781), disant que l' « on nous fait du langage des premiers hommes des langues de géomètres, et nous voyons que ce furent des langues de poètes »[50]. En outre, il serait pertinent de citer l'*Essai de Cosmologie*, dans lequel le *principe de la moindre action* – formulé au départ par Maupertuis dans le contexte de ses études de physique[51] – est décrit comme un « principe métaphysique »[52], sur lequel la démonstration de l'existence de Dieu s'appuie entièrement. Bien que non géométrique, cette démonstration

50 Rousseau 1995 (*Œuvres complètes*, V), 380.

51 Maupertuis 1768(4), *Accord de différentes lois de la nature qui avaient jusqu'ici paru incompatibles*, 3-28. Le principe de la moindre action établit que, dans tout changement naturel, « la quantité d'action est la moindre », la quantité d'action étant définie de la manière suivante : « Lorsqu'un corps est porté d'un point à un autre, il faut pour cela une certaine action : cette action dépend de la vitesse qu'a le corps, et de l'espace qu'il parcourt ; mais elle n'est ni la vitesse ni l'espace pris séparément. La quantité d'action est d'autant plus grande que la vitesse du corps est grande, et que le chemin qu'il parcourt est plus long ; elle est proportionnelle à la somme des espaces multipliés chacun par la vitesse avec laquelle le corps les parcourt » (*ibid.*, 17).

52 Maupertuis 1768(1), *Essai de cosmologie*, xxii.

est présentée comme fort probable et – Maupertuis insiste – « un nombre infini de probabilités est une démonstration complète, et pour l'esprit humain la plus forte de toutes les démonstrations »[53].

Dans la présente contribution, nous avons pourtant choisi de nous concentrer sur un autre texte, l'*Essai de philosophie morale* (1749). Parmi les travaux maupertuisiens, il nous semble de loin le plus intéressant pour traiter notre sujet. Le but de cet ouvrage, d'après ce que l'auteur lui-même nous expose, est de présenter un « calcul […] des biens et des maux », dans le but de trouver « les moyens pour augmenter *la somme des uns*, et diminuer *la somme des autres* »[54]. Conformément à sa critique du mathématisme rigide, Maupertuis n'y propose aucune formule mathématique pour dériver les règles morales, comme l'avaient fait Francis Hutcheson dans son *Inquiry into the Original of Our Ideas of Beauty and Virtue* (1725)[55], ou encore Benjamin Stillingfleet dans le *Traité mathématique sur le bonheur* (*Some Thoughts concerning Happiness*, 1738). Néanmoins, la démarche maupertuisienne s'approche considérablement de ce que Wolff lui-même avait essayé de faire dans sa mathématisation de la vie psychique, à tel point qu'un commentateur attentif comme Pierre Naudin a pu affirmer que « cette rigueur, il [Maupertuis] la devait, pour l'essentiel, à l'exemple de Wolff. L'auteur de l'*Essai* ne pouvait, en effet, ignorer l a *Psychologia empirica* de ce dernier »[56]. Aussi s'agissait-il du concept de *psychométrie*, un terme typiquement wolffien que Maupertuis aurait en

53 *Ibid*., xx.

54 MAUPERTUIS 1768(1), *Essai de philosophie morale*, 181-182.

55 Dont le titre complet, dans sa première édition, était le suivant : *Recherche sur l'origine de nos idées de la beauté et de la vertu en deux traités, dans laquelle les principes du défunt Comte de Shaftesbury sont expliqués et défendus contre l'auteur de la Fable des Abeilles, et les idées du bien et du mal moral sont définies en accord avec les sentiments des moralistes antiques, avec un essai pour introduire un calcul mathématique dans les affaires morales* (trad. fr. de l'ouvrage : HUTCHESON 1991).

56 NAUDIN 1975, 16.

quelque sorte repris à son compte : « Ce néologisme – comme Naudin nous rappelle – forgé par Wolff montrait sa volonté de soumettre les sciences de l'âme – psychologie et morale confondues – à l'unité du discours mathématique »[57]. Faute de preuves directes de cette assertion, nous nous limiterons à analyser le mathématisme tel qu'il se manifeste chez Maupertuis, sans pourtant oublier les sources possibles auxquelles l'auteur de l'*Essai de philosophie morale* aurait pu s'inspirer.

Le texte de l'*Essai* se compose de deux parties, ayant des caractères assez différents entre elles. Les deux premiers chapitres sont consacrés à l'analyse scientifique de la nature des plaisirs et des peines qui affectent tout être humain en tant que tel ; les cinq chapitres suivants se configurent comme un aperçu des possibles solutions au diagnostic prononcé à la fin de la première partie. Dans cette dernière partie, l'argumentaire de Maupertuis se fait moins rigoureux, puisqu'il n'est guère possible de donner un traitement scientifique de ce qui n'est pas phénoménologiquement donné : les solutions proposées ont en effet la nature d'hypothèses, les unes certes plus efficaces que les autres, mais tout de même incertaines. C'est justement pour cela que l'auteur insiste sur le fait que la foi chrétienne, l'une des solutions présentées parmi les plus plausibles, bien que nécessaire à se sauver, n'est pas « rigoureusement démontrable » : si elle l'était, « tout le monde la suivrait »[58]. Concentrons-nous donc sur les deux premiers chapitres du texte, qui seuls peuvent nous donner des éléments intéressants pour traiter de la question de la mathématisation de la morale chez Maupertuis.

Commençons par la façon dont Maupertuis introduit les « calculs froids

57 *Ibid*.
58 MAUPERTUIS 1768(1), *Essai de philosophie morale*, 190.

et secs »[59] qu'il donne dans la première partie de l'ouvrage. Le vocabulaire qu'il emploie pour caractériser sa démarche souligne clairement l'esprit calculatoire qu'il souhaite appliquer à l'étude de la morale. « On a paru choqué du plan de mon ouvrage, comme si je m'étais proposé de faire haïr la vie. […] Mais le philosophe qui compte et pèse les peines et les plaisirs l'est-il ? »[60] L'idée d'un calcul des plaisirs et des peines revient peu après : « Et celui qui trouve mauvais qu'on lui présente ce calcul, ne ressemble-t-il pas à un homme dérangé, qui se fâche lorsque son intendant lui fait voir le compte de sa dépense et de ses revenus ? »[61] Et encore : « Je n'ai eu dans celui-ci [l'*Essai*] que la vérité pour objet, et que la philosophie pour guide. Je n'ai fondé que sur elles le calcul que j'ai fait des biens et des maux »[62]. L'autoreprésentation que Maupertuis donne de son argumentaire eut tout de même un écho dans les lectures que ses contemporains donnèrent de l'*Essai*. Nous pouvons rappeler l'exemple de Mme de Puisieux, que dans ses *Caractères* (1750) critiquait le savant de la manière suivante : « Je trouve que M. de Maupertuis a prétendu soumettre tout le monde à une arithmétique morale qui lui est propre, et appliquer à tous les hommes un calcul qui ne convient qu'à ceux de sa classe »[63].

Tentons maintenant d'expliquer la structure du texte dans le détail. En respectant l'idée maupertuisienne d'une mathématisation de la morale, nous allons reconstruire la structure logique du texte, en insistant notamment sur l'analogie que celui-ci présente avec les traités de géométrie au sens classique (nous pensons notamment à Euclide). Maupertuis commence par définir un

59 *Ibid.*, 186.
60 *Ibid.*, 180.
61 *Ibid.*
62 *Ibid.*, 181.
63 De Puisieux 1750, 175.

certain nombre de termes.

> D_1, PLAISIR : « J'appelle *plaisir*, toute perception que l'âme aime mieux éprouver que ne pas éprouver. […] Toute perception dans laquelle l'âme voudrait se fixer, dont elle ne souhaite pas l'absence, pendant laquelle elle ne voudrait ni passer à une autre perception, ni dormir ; toute perception telle est un *plaisir.* »
>
> D_2, PEINE : J'appelle *peine*, toute perception que l'âme aime mieux ne pas éprouver qu'éprouver. […] Toute perception que l'âme voudrait éviter, dont elle souhaite l'absence, pendant laquelle elle voudrait passer à une autre, ou dormir ; toute perception telle est une *peine.* »
>
> D_3, MOMENT HEUREUX : « Le temps que dure cette perception [le plaisir] est ce que j'appelle *moment heureux*. »
>
> D_4, MOMENT MALHEUREUX : « Le temps que dure cette perception [la peine] est ce que j'appelle *moment malheureux*.[64] »

L'on passe ensuite à ce que nous pourrions appeler, en référence aux *Éléments* d'Euclide, les « notions communes ». En d'autres termes, ce sont des axiomes dont la démonstration n'est pas donnée et qui ne relèvent pas spécialement du domaine en question (de la géométrie chez Euclide, de la morale chez Maupertuis)[65] ; plutôt sont-ils fondamentaux pour la construction et la démonstration des propositions suivantes.

> NC_1, DURÉE : « Dans chaque moment heureux ou malheureux, ce n'est pas assez de considérer la durée », considérée par Maupertuis au sens intuitif et vulgaire[66].
>
> NC_2, INTENSITÉ : « Il faut avoir égard à la grandeur du plaisir ou de la peine :

64 MAUPERTUIS 1768(1), *Essai de philosophie morale*, 193-194.

65 Sur l'idée de « notions communes » et leur fonction dans les *Éléments* d'Euclide, cf. ACERBI 2007, 220-221.

66 La juxtaposition entre une conception scientifique et absolue, et une conception vulgaire et relative de la durée, de l'espace et du mouvement avait été formulée par Newton dans la scholie aux *Définitions* du premier livre des *Principia*. Cf. NEWTON 1759, 7-16.

j'appelle cette grandeur *intensité*.[67] »

Après avoir posé les bases fondamentales pour la construction de sa théorie, Maupertuis passe à l'énonciation et à la démonstration des propositions (ou théorèmes). Nous en avons identifiées neuf, dont la dernière est sans doute la plus importante, sa discussion occupant le chapitre deux dans son intégralité.

> P_1 : « En général, *l'estimation des moments heureux ou malheureux est le produit de l'intensité du plaisir ou de la peine par la durée*.[68] »

À cette proposition, une sorte de scholie est ajoutée pour résoudre un premier problème qui se pose à l'établissement d'une arithmétique morale. En effet, si comme l'écrit Maupertuis l' « on peut aisément comparer les durées », puisque « nous avons des instruments qui les mesurent », la même chose ne peut pas être dite au sujet des intensités. En d'autres termes, la présence de l'intensité dans l'équation pour calculer les moments heureux ou malheureux introduit un élément subjectif voire arbitraire dans ce calcul qui se voudrait précis et objectif. La réponse maupertuisienne à cette question consiste à faire appel au « jugement naturel » dont tous les hommes disposent : bien que tout le monde n'entende pas l'intensité d'un plaisir ou d'une peine de la même manière, il reste néanmoins établi que nous devons tous faire le produit de l'intensité pour la durée de nos plaisirs et de nos peines lorsque nous voulons parvenir à la « juste estimation » des moments heureux et malheureux de notre vie.

> P_2, BIEN : « Le *bien* est une somme de moments heureux. »

67 MAUPERTUIS 1768(1), *Essai de philosophie morale*, 194.
68 *Ibid.*, 195.

> P_3, MAL : « Le *mal* est une somme semblable de moments malheureux. »
>
> P_4, BONHEUR : « Le *bonheur* est la somme des biens qui reste, après qu'on en a retranché tous les maux.
>
> P_5, MALHEUR : « Le *malheur* est la somme des maux qui reste, après qu'on a retranché tous les biens. »
>
> P_6, HOMME HEUREUX : « L'homme le plus heureux n'est pas toujours celui qui a eu la plus grande somme des biens. […] L'homme le plus heureux est celui à qui, après la déduction faite de la somme des maux, il est resté la plus grande somme de biens. »
>
> P_7, HOMME NI HEUREUX NI MALHEUREUX : « Si la somme des biens et la somme des maux sont égales, on ne peut appeler celui à qui il est échu un tel partage, heureux ni malheureux : le néant vaut son être. »
>
> P_8, HOMME MALHEUREUX : « Si la somme des maux surpasse la somme des biens, l'homme est malheureux.[69] »

Des trois dernières définitions en particulier, nous pouvons éluder une approche utilitariste. Le bonheur ou le malheur de l'individu sont en effet décrits comme la somme algébrique des biens et des maux qu'il a éprouvés. Notons que Maupertuis, conformément à ce qu'il théorise dans l'*Essai*, étendra dans son *Éloge de Montesquieu* (1755) ce calcul individuel à l'échelle collective, en expliquant la tâche du législateur dans les termes suivants : « Une multitude d'hommes étant rassemblée, lui procurer la plus grande somme de bonheur qu'il soit possible »[70]. Les paragraphes conclusifs du premier chapitre – dans ce qu'on pourrait considérer comme une scholie aux définitions 6, 7 et 8 – sont consacrés à la discussion d'une question cruciale pour la mise en place d'un tel calcul utilitariste. Les biens et les maux dont chacun d'entre nous fait

69 *Ibid.*, 197-198.
70 MAUPERTUIS 1768(3), *Discours académiques*, 407.

l'expérience ont une nature assez hétérogène, et d'ailleurs la distance qui nous sépare du moment où on les a vécus pourrait altérer ou fausser notre jugement. Comment faut-il donc procéder à cette computation ? Une fois évoqué le fait qu'il n'y a pas de réponse évidente à la question, la solution offerte par Maupertuis consiste à réaffirmer la naturalité d'un tel calcul des biens et des maux : « Et quoique les biens et les maux paraissent d'espèces fort différentes, on ne laisse pas de comparer les uns avec les autres ceux qui semblent le plus hétérogènes »[71]. Dans la bonne exécution de cette computation consiste la vertu de la *prudence*, dont certains sont mieux doués que d'autres. Cela expliquerait aussi l'hétérogénéité des comportements humains : « C'est des différentes manières dont ces calculs se font que résulte la variété infinie de la conduite des hommes »[72].

Le deuxième chapitre, plus court que le précédent, est entièrement consacré à prouver une neuvième proposition, qui représente le résultat principal de l'enquête menée par l'auteur.

P_9 : « *Dans la vie ordinaire la somme des maux surpasse la somme des biens.*[73] »

L'argument donné pour justifier cette assertion est assez complexe ; nous n'allons qu'insister sur un point du raisonnement de Maupertuis qui nous semble capital. La raison décisive pour fonder la vérité de cette proposition se trouve être un constat de nature phénoménologique : « En effet, combien rares sont ces perceptions dont l'âme aime la présence ? La vie est-elle autre chose qu'un souhait continuel de changer de perception ? »[74] Évidemment, la

71 Maupertuis 1768(1), *Essai de philosophie morale*, 199.
72 *Ibid.*, 201.
73 *Ibid.*, 203.
74 *Ibid.*, 202.

fondation objective de l'argumentation maupertuisienne pose encore des problèmes, puisqu'elle s'appuie sur une expérience qui devrait être partagée par tous, mais dont il est impossible de fournir une preuve apodictique.

> Il y a, je crois, peu d'hommes qui ne conviennent que leur vie a été beaucoup plus remplie de ces moments [malheureux] que de moments heureux, quand ils ne considéreraient dans ces moments que la durée ; mais s'ils y font entrer l'intensité, la somme des maux en sera encore de beaucoup augmentée.[75]

Comme nous l'avons dit précédemment, le reste de l'*Essai* présente des moyens possibles destinés à contraster le malheur des hommes à l'aide, d'abord, d'une discussion critique des systèmes épicurien et stoïcien, et ensuite de la solution fidéiste. La solution finale que Maupertuis formule est une exhortation à agir selon un principe simple : « Il est un principe dans la nature, plus universel encore que ce qu'on appelle la *lumière naturelle*, plus uniforme encore pour tous les hommes, aussi présent au plus stupide qu'au plus subtil : c'est *le désir d'être heureux*.[76] » Cette fois-ci, pourtant, ce n'est pas seulement la référence à la nature qui fonde la plausibilité de l'argumentation, mais aussi et surtout l'appel à la bonté du Créateur :

> Dans cette égalité de ténèbres [le sectarisme], dans cette nuit profonde, si je rencontre le système qui est le seul qui puisse remplir le désir que j'ai d'être heureux, ne dois-je pas à cela le reconnaître pour le véritable ? Ne dois-je pas croire que celui qui me conduit au bonheur est celui qui ne saurait me tromper ? […] C'est une impiété de penser que la divinité nous ait détournés du vrai bonheur en nous offrant un bonheur qui lui était incompatible.[77]

75 *Ibid.*, 203.
76 *Ibid.*, 251.
77 *Ibid.*, 252.

5. Maupertuis et les limites du mathématisme : épistémologie et métaphysique

Ainsi, une question fondamentale se pose : comment peut-on concilier la dénonciation du mathématisme, telle que nous l'avons détaillée au début, avec la reprise substantielle du mathématisme dans l'*Essai de philosophie morale*[78] ? Quel lien existe-t-il entre les démarches de Wolff et de Maupertuis, s'il est vrai que, tout en critiquant radicalement la méthode wolffienne, Maupertuis semble en effet s'en réapproprier ? Pour clarifier les choses, il est nécessaire de faire référence aux positions épistémologiques et métaphysiques de Maupertuis. Pour ce faire, nous allons nous concentrer sur l'un des derniers travaux du savant, à savoir l'*Examen philosophique de la preuve de l'existence de Dieu employée dans l'Essai de Cosmologie*, paru en 1756.

Au début de l'*Examen*, l'auteur pose la question de la possibilité de démontrer géométriquement une hypothèse métaphysique en établissant un lien avec la question de la contingence ou nécessité des lois de la nature[79]. Il semblerait que seulement les vérités nécessaires soient susceptibles de démonstration géométrique : si « les matériaux dont est bâti l'édifice de nos sciences étaient tombés du ciel »[80], elles seraient par conséquent entièrement démontrables avec une certitude absolue. Comme Maupertuis l'avait déjà expliqué dans ses *Réflexions philosophiques*, ce n'est pas le cas. Preuve en est, comme Euler le rappelait à propos de l'histoire du concours berlinois, le désaccord éternel qui partage les philosophes sur toute question. En somme,

78 Tout comme dans d'autres ouvrages maupertuisiens que nous n'avons pas eu le temps de présenter ici.

79 Pour une discussion approfondie de comment cette question se pose tout au long du XVIIIe siècle, cf. CHARRAK 2006.

80 MAUPERTUIS 1768(1), *Examen philosophique de la preuve de l'existence de Dieu employée dans l'Essai de Cosmologie*, 391.

« notre science n'est fondée que sur des principes qui n'ont rien d'absolu, appropriés à l'espèce humaine, quelquefois même seulement à quelque secte de philosophes »[81]. Tout au contraire, dans le domaine des sciences mathématiques « tout le monde est d'accord »[82], car l'évidence des démonstrations qu'on y trouve ne laisse le moindre espace pour le scepticisme. Pourquoi une telle différence ? Une première réponse pourrait faire référence au statut artificiel voire arbitraire des objets mathématiques, que nous créons nous-mêmes : la nécessité qui y règne serait donc issue de la nature conventionnelle de ce dont on parle. Maupertuis refuse nettement cette hypothèse puisque, en bon empiriste, il est convaincu que nous pouvons rien créer qui ne vienne pas des sens (sensation ou réflexion). Voici donc l'explication alternative fournie par Maupertuis. Il n'y a aucune différence ontologique, dit-il, entre les objets mathématiques et les objets des autres connaissances. La seule différence consiste dans le niveau d'abstraction auquel chaque science se situe, les mathématiques étant plus loin de l'expérience sensible immédiate, les connaissances physiques – par exemple – étant plus proches des objets comme nous les connaissons ordinairement[83]. La propriété typique des objets mathématiques est donc pour Maupertuis la *réplicabilité*[84] : « Enfin je vois que l'étendue comme le nombre est accrescible et diminuable à volonté, et de parties toujours les mêmes ou égales les unes aux autres : caractère qui n'appartient à aucune autre propriété des corps »[85]. En dehors des mathématiques, il n'y a aucun objet qui soit rigoureusement

81 *Ibid.*, 391.
82 *Ibid.*, 392.
83 Cf. CHARRAK 2009, 142-148.
84 Le terme de « réplicabilité » est utilisé par Maupertuis dans l'*Examen* et repris par tous les commentateurs de son œuvre. Nous nous conformons à l'usage courant.
85 MAUPERTUIS 1768(1), *Examen philosophique de la preuve de l'existence de Dieu employée dans l'Essai de Cosmologie*, 395.

réplicable. Les couleurs, les sons ou les saveurs ne sont guère susceptibles de plus et de moins, et de même il en va pour les objets moraux : « une vertu ne peut être appelée plus grande que parce qu'on en rapporte l'exercice à un plus grand nombre d'actions qu'on regarde comme les mesures de cette vertu.[86] » Par conséquent, dans toutes les disciplines étudiant de tels objets nous ne pourrons jamais trouver la même exactitude que dans les sciences mathématiques : ce serait donc totalement absurde de vouloir revendiquer l'identité des leurs méthodes respectives.

Jusqu'ici, la critique du mathématisme wolffien émise par Maupertuis, de concert avec Euler, est cohérente. Mais comment pouvons-nous rendre compte de la tentative maupertuisienne de mathématiser la morale (ou d'autres domaines que nous n'avons pas eu le temps d'approfondir) ? Comme on l'aura désormais compris, Maupertuis est un empiriste d'inspiration lockienne. Nous ne pouvons pas accéder à la connaissance de l'essence des choses, mais nous devons nous limiter aux phénomènes qui apparaissent à nous. Il n'y a aucune idée innée, mais toute connaissance est acquise par sensation. Comme l'avait fait Berkeley, Maupertuis radicalise l'empirisme de Locke dans un phénoménalisme et subjectivisme extrême[87]. Nous ne pouvons atteindre aucune connaissance stable et définitive des choses qui nous entourent, notre capacité à formuler des propositions universellement vraies étant par conséquent considérablement réduite. Le résultat est un solipsisme

86 *Ibid.*, 398. Notons que ce passage semble démentir les résultats les plus significatifs de l'*Essai de philosophie morale*.

87 Cf. TONELLI 1987, 8-11. Nous nous référons à la lecture de la philosophie de Berkeley qui était courante au XVIII^e siècle, qui le considérait comme un subjectiviste et solipsiste. En ce qui concerne la possible influence de Berkeley sur Maupertuis, nous devons plutôt la minimiser : Maupertuis ne lisait pas l'anglais, et les traductions françaises des œuvres berkeleiennes sont postérieures à l'élaboration des théories phénoménalistes maupertuisiennes. Sur toutes ces questions, cf. CHARLES 2003.

presque absolu, ce qui rapproche Maupertuis de la tradition sceptique. C'est ici que l'importance de la mathématisation entre en jeu. L'outil mathématique permet de formuler des lois abstraites et générales, qui aspirent à expliquer le fonctionnement global de la réalité, comme c'est le cas en physique, par exemple dans la loi de l'attraction gravitationnelle ou dans le principe de la moindre action. En dépit du cadre radicalement subjectif de la connaissance, l'abstraction et la généralité des lois mathématiques représentent pour Maupertuis des garanties de leur degré plus haut de vraisemblance. La raison en est double. D'une part, les détails (pensons aux propriétés phénoménales d'un objet particulier) changent sans cesse, tandis que les *patterns* généraux changent moins fréquemment. D'autre part, si Dieu veut nous faire connaître quelque chose de l'ordre universel – et cela serait tout à fait cohérent avec sa bonté infinie – il nous donnerait accès aux grandes lignes de son dessein plutôt qu'aux aspects particuliers, car c'est la structure générale d'un projet qui en rend la nature claire[88].

De ce que nous venons de dire, l'on peut bien comprendre que la mathématisation soit d'importance capitale pour Maupertuis. Il s'agit en effet d'un outil destiné à surmonter, au moins partiellement, les limites qui sont fixées par l'imperfection de nos facultés. Si l'on considère le cas spécifique de la morale, l'opération consistant à calculer les plaisirs et les peines sert à réduire l'incertitude des notions de ce domaine spécifique, en donnant ainsi

88 Comme Maupertuis l'écrit dans l'avant-propos de l'*Essai de Cosmologie* : « Je n'ai pu m'empêcher de relever quelques raisonnements de ces imprudents admirateurs de la nature [les physicothéologues], dont l'athée se pourrait servir aussi bien qu'eux. J'ai dit que ce n'était point par ces petits détails de la construction d'une plante ou d'un insecte, par ces paries détachées dont nous ne voyons point assez le rapport avec le tout, qu'il fallait prouver la puissance et la sagesse du Créateur : que c'était par des phénomènes dont la simplicité et l'universalité ne souffrent aucune exception et ne laissent aucun équivoque » (MAUPERTUIS 1768(1), xix).

plus d'intelligibilité à ce qui serait autrement obscur et insaisissable. Mathématiser est donc indispensable pour réduire l'instabilité de nos connaissances, toujours dans les limites des capacités que la nature nous a fournies[89].

C'est précisément ici que nous voyons clairement la distance de l'approche de Maupertuis par rapport à celle de Wolff. Le rêve wolffien d'un calcul universel de toutes les idées ne pourra jamais être mis en place suite à l'insuffisance de notre connaissance des natures des choses, ainsi que de nos facultés : cette insuffisance qui ne peut être redimensionnée grâce au langage mathématique ne pourra jamais être entièrement supprimée. La différence fondamentale existant entre les hommes en tant que sujets d'expérience, ainsi que la variété extraordinaire d'idées qui peuplent les esprits nous empêche donc d'élaborer une recette universellement valide pour tout réduire à un seul et vrai système du savoir. Nous citons en conclusion l'un des textes les plus significatifs où Maupertuis insiste sur ce point, tiré de l'un de ses derniers ouvrages, à savoir la *Dissertation sur les différents moyens dont les hommes se sont servis pour exprimer leurs idées* (1754) :

> Si l'on pouvait bien fixer la nature des idées, qu'on pût les ranger dans un ordre qui répondit à leur priorité, à leur généralité, à leur limitation, il ne serait pas impossible d'établir des caractères qui eussent des rapports correspondants aux rapports des idées. Cas caractères établis, seraient non seulement des secours pour la mémoire, mais encore des instructions pour l'esprit : et cette écriture philosophique mériterait d'être l'écriture ou la langue universelle. C'est […] une telle écriture que des grands philosophes ont proposée, mais qu'ils n'ont vue que de bien loin. En effet, comment pourrait-on se flatter de faire convenir tous les hommes sur le rang et la valeur des idées, tandis qu'ils diffèrent si étrangement sur cela, que les uns regardent comme aussi anciennes que notre âme, des idées que les autres prétendent qu'elle n'acquiert que par les sens et l'expérience ? […] S'il n'était question que de rendre un petit nombre d'idées, toutes les nations pourraient facilement s'accorder, et s'entendre dans une expression commune. L'algèbre, l'arithmétique, la musique, langues universelles

89 Cf. TONELLI 1987, 28-30.

dans notre Europe, le prouvent assez bien. Mais leur universalité n'est due qu'au petit nombre et à la simplicité des idées qu'elles expriment. Et il ne paraît guère possible de traiter dans de telles langues d'autres sujets que l'étendue, les nombres, ou les sons.[90]

MARCO STORNI

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE, PARIS / UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

90 MAUPERTUIS 1768(3), *Dissertation sur les différents moyens dont les hommes se sont servis pour exprimer leurs idées*, 463-465.

BIBLIOGRAPHIE

AT = RENÉ DESCARTES, *Œuvres*, 12 tomes, éd. par CHARLES ADAM, PAUL TANNERY, Paris, Cerf 1897-1913.

ACERBI 2007 = FABIO ACERBI, « Introduzione », dans EUCLIDE, *Tutte le opere*, éd. par FABIO ACERBI, Milano, Bompiani, 15-776.

ANCILLON 1815 = FRÉDÉRIC ANCILLON, « Éloge de Jean Bernard Mérian, secrétaire perpétuel de l'Académie », dans *Abhandlungen des Königlichen Akademie des Wissenschaften in Berlin, aus den Jahren 1804-1811*, Berlin, Realschul-Buchhandlung, 52-90.

BARTHOLMÈSS 1851 = CHRISTIAN BARTHOLMESS, *Histoire philosophique de l'Académie de Prusse depuis Leibnitz jusqu'a Schelling, particulièrement sous Frederic-le-Grand*, vol. 2, Paris, De Franck.

BASSO 2004 = PAOLA BASSO, *Il secolo geometrico. La questione del metodo matematico in filosofia da Spinoza a Kant*, Firenze, Le Lettere.

BEESON 1987 = DAVID BEESON, « Maupertuis at the crossroads: dating the *Réflexions philosophiques* » , *Studies on Voltaire and the Eighteenth Century* 249 (1987), 241-250.

BONGIE 1994 = LAURENCE L. BONGIE, « Introduction », dans ÉTIENNE BONNOT DE CONDILLAC, *Les monades*, éd. par LAURENCE L. BONGIE, Grenoble, Jérôme Millon.

BOS 2001 = HENK J. M. BOS, *Redefining geometrical exactness. Descartes' transformation of the early modern concept of construction*, New York, Springer.

CALINGER 1969 = RONALD S. CALINGER, « The Newtonian-Wolffian controversy: 1740-1759 », *Journal of the History of Ideas* 30 :3 (1969), 319-330.

CASINI 2000 = PAOLO CASINI, « Newton in Prussia », *Rivista di filosofia* 2 (2000), 251-282.

CHARLES 2003 = SÉBASTIEN CHARLES, *Berkeley au siècle des Lumières. Immatérialisme et scepticisme au XVIII^e^ siècle*, Paris, Vrin.

CHARRAK 2006 = ANDRÉ CHARRAK, *Contingence et nécessité des lois de la nature au XVIII^e siècle. La philosophie seconde des Lumières*, Paris, Vrin.

CHARRAK 2009 = ANDRÉ CHARRAK, *Empirisme et théorie de la connaissance. Réflexion et fondement des sciences au XVIII^e siècle*, Paris, Vrin.

CONDILLAC 1749 = ÉTIENNE BONNOT DE CONDILLAC, *Traité des systèmes*, La Haye, Neaulme.

DESCARTES 2012 = RENÉ DESCARTES, *Règles pour la direction de l'esprit*, Paris, Vrin.

DONNA 2015 = DIEGO DONNA, *Le catene di ragioni e l'ordine della natura. Teorie della conoscenza in Descartes e Spinoza*, Milano-Udine, Mimesis.

DUNLOP 2012 = KATHERINE DUNLOP, « Mathematical method and Newtonian science in the philosophy of Christian Wolff », *Studies in History and Philosophy of Science* 44 (2013), 457–469.

EULER 1812 = LEONHARD EULER, *Lettres à une princesse d'Allemagne sur divers sujets de physique et de philosophie*, tome 2, Paris, Courcier et Bachelier.

GUICCIARDINI 2009 = NICCOLÒ GUICCIARDINI, *Isaac Newton on mathematical certainty and method*, Cambridge (Mass.)-London, The MIT Press.

HANSCH 1728 = MICHAEL GOTTLIEB HANSCH, *Godefridi Guilielmi Leibnitii principia philosophiæ, more geometrico demonstrata: cum excerptis ex epistolis philosophi et scholiis quibusdam, ex historia philosophica*, Frankfurt et Leipzig, Petri Contradu Monath.

VON HARNACK 1901 = ADOLF VON HARNACK, *Geschichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, Berlin, Georg Stilke.

HUTCHESON 1991 = FRANCIS HUTCHESON, *Recherche sur l'origine de nos idées de la beauté et de la vertu*, Paris, Vrin.

LEDUC 2013 = CHRISTIAN LEDUC, « Euler et le monadisme », *Studia Leibnitiana* 45:2 (2013), 150-169.

MARCOLUNGO 1992 = FERDINANDO L. MARCOLUNGO, « Wolff e il problema del metodo », dans SONIA CARBONCINI, LUIGI CATALDI MADONNA (eds.), *Nuovi studi sul pensiero di Christian Wolff*, Hildesheim, Georg Olms.

MAUPERTUIS 1768(1) = PIERRE-LOUIS MOREAU DE MAUPERTUIS, *Œuvres*, tome 1 (avec l'*Examen philosophique de la preuve de l'existence de Dieu employée dans l'Essai de Cosmologie*), Lyon, Bruyset (reprint éd. par GIORGIO TONELLI, Hildesheim, Georg Olms 1974).

MAUPERTUIS 1768(2) = PIERRE-LOUIS MOREAU DE MAUPERTUIS, *Œuvres*, tome 2, Lyon, Bruyset (reprint éd. par GIORGIO TONELLI, Hildesheim, Georg Olms 1965).

MAUPERTUIS 1768(3) = PIERRE-LOUIS MOREAU DE MAUPERTUIS, *Œuvres*, tome 3, Lyon, Bruyset (reprint éd. par GIORGIO TONELLI, Hildesheim, Georg Olms 1965).

MAUPERTUIS 1768(4) = PIERRE-LOUIS MOREAU DE MAUPERTUIS, *Œuvres*, tome 4 , Lyon, Bruyset (reprint éd. par GIORGIO TONELLI, Hildesheim, Georg Olms 1965).

NAUDIN 1975 = PIERRE NAUDIN, « Une arithmétique des plaisirs ? Esquisse d'une réflexion sur la morale de Maupertuis », dans OLIVIER BLOCH (ed.), *Actes de la journée Maupertuis*, Paris, Vrin, 15-31.

NEWTON 1759 = ISAAC NEWTON, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, tome 1, traduit par ÉMILIE DU CHÂTELET, Paris, Desaint&Saillant et Lambert.

PACCIONI 2006 = JEAN-PAUL PACCIONI, *Cet esprit de profondeur. Christian Wolff, l'ontologie et la métaphysique*, Paris, Vrin.

PAPPUS 1986 = PAPPUS OF ALEXANDRIA, *Book 7 of the* Collection. *Part 1. Introduction, text, and translation*, éd. Par ALEXANDER JONES, New York, Springer.

DE PUISIEUX 1750 = MADELEINE DE PUISIEUX, *Les Caractères*, Londres [Paris], S.n.

REY 2013 = ANNE-LISE REY, « Les monades selon Samuel Formey » , *Studia*

Leibnitiana 45:2 (2013), 135-149.

ROSSI 1983 = PAOLO ROSSI, *Clavis universalis. Arti della memoria e logica combinatoria da Lullo a Leibniz*, Bologna, Il Mulino.

ROUSSEAU 1995 = JEAN-JACQUES ROUSSEAU, *Œuvres complètes*, vol. 5. *Écrits sur la musique, la langue et le théâtre*, éd. par BERNARD GAGNEBIN, MARCEL RAYMOND, Paris, Gallimard.

LE SUEUR 1896 = ACHILLE LE SUEUR, *Maupertuis et ses correspondants. Lettres inédites du grand Frédéric, du prince Henri de Prusse, de La Beaumelle, du président Henault, du comte de Tressan, d'Euler, de Kaestner, de Koenig, de Haller, de Condillac, de l'Abbé d'Olivet du maréchal d'Écosse, etc.*, Montreuil-sur-mer, Picard et fils.

TERRALL 2002 = MARY TERRALL, *The man who flattened the Earth. Maupertuis and the sciences in the Enlightenment*, Chicago-London, The University of Chicago Press.

TONELLI 1987 = GIORGIO TONELLI, *La pensée philosophique de Maupertuis: son milieu et ses sources*, Hildesheim, Georg Olms.

VOLTAIRE 1965 = VOLTAIRE, *Correspondance*, vol. II, éd. par THEODORE BESTERMAN, Paris, Gallimard.

WOLFF 1728 = CHRISTIAN WOLFF, *Philosophia rationalis sive logica, methodo scientifica pertractata et ad usum scientiarum atque vitae aptata. Praemittitur discursus praeliminaris de philosophia in genere*, Frankfurt et Leipzig, Renger.

WOLFF 1742 = CHRISTIAN WOLFF, *Elementa matheseos universæ*, tome 1, Halle, in Officina libraria Rengeriana.

WOLFF 2006 = CHRISTIAN WOLFF, *Discours préliminaire sur la philosophie en général*, Paris, Vrin 2006 (*Discursus praeliminaris de philosophia in genere*, in *Philosophia Rationalis sive Logica*, Frankurt-Leipzig, in Officina libraria Rengeriana, 1-104).

Wolff and Kant on Reasoning from Essences

Elise Frketich

1. Introduction

Wolff and Kant agree that the method of demonstration of the «mathematical method» is, generally speaking, the axiomatic-deductive method of Euclid's *Elements*.[1] This method employs chains of syllogisms in order to prove a general proposition about a geometric figure with apodictic certainty. These chains of syllogisms (or demonstrations), in the mathematical method, are carried out with recourse to an individual geometric figure. For example, in order to prove the general proposition that all internal angles of a triangle are equal to 180 degrees, one need only to draw a triangle and to make convenient additions to is, such as, to add a line at its apex, parallel to its base. On the basis of the drawn triangle and the convenient additions made to it, one can then employ principles like «all internal angles within parallel lines are equal» within the demonstration. By a combination of such principles and references to the drawn triangle within the demonstration, one shows that specific internal angles within parallel lines in the drawn triangle are equal.

1 The mathematical method is, to be sure, broader than the method of demonstration, for Wolff, as it is an order of explanation of the mathematicians, which begins with definitions, and proceeds to principles (*Grundsätze*), theorems (*Lehrsätze*), and problems (*Aufgaben*) (*Kurzer Unterricht* [KU], §1). However, in this paper, I focus on the application of the mathematical method to philosophy. Since Wolff provides a convenient comparison of the mathematical method in action as it is applied to geometry (*German Logic* [GL], chapter 4, § 23) and to natural philosophy (GL, chapter 4, § 25), which highlights the method of demonstration, I focus on the comparison of how this demonstration can be used in both disciplines.

One proceeds in this way until one proves the proposition in question. Although the drawn geometric figure is an individual, it is able to be used to prove propositions which hold for all triangles: it is an individual which represents the universal. While Wolff and Kant agree that, generally speaking, this is the mathematical method, they disagree on the scope of its application.[2]

For Wolff, one can achieve scientific certainty in all sciences by means of the mathematical method (when I refer to the «mathematical method» from now on, I am referring specifically to its method of demonstration).[3] When Wolff applies the mathematical method to natural philosophy, it involves one unique feature, on my interpretation: it treats a thing in nature like a geometric figure.[4] That is, it treats a thing in nature as an individual which can stand for the universal.[5] For Kant, by contrast, there is only one

2 Wolff discusses the example taken up in this paragraph of the mathematical method in action in geometry at GL, Ch. 4, § 23 and Kant discusses this example at A716/B744-A717/B745. Although Kant maintains the general steps of the mathematical method, as here described, he deviates significantly in that, on his view, the individual geometrical figure must be constructed *a priori*, as I will discuss when I take up Kant's arguments against Wolff in section 5.

3 KU, § 51.

4 I single out natural philosophy because in the example demonstration, which I focus on in this paper, mentioned in footnote 1, Wolff provides a detailed account of how the mathematical method is applied to natural philosophy.

5 My discussion of Wolff's mathematical method relies on the *Kurzer Unterricht von der mathematischen Methode oder Lehrart* (*Kurzer Unterricht*) in the *Anfangsgründe aller mathematischen Wissenschaften*, on his *Vernünftige Gedanken von den Kräften des menschlichen Verstandes und ihrem richtigen Gebrauch in der Erkenntnis der Wahrheit* (*German Logic*), and on *Vernünftige Gedancken von Gott, der Welt und der Seele des Menschen, auch allen Dingen überhaupt* (*German Metaphysics*) [GM], since these texts seem to present a unified theory with respect to understanding the mathematical method, as it is presented in the example I focus on in the GL. Alberto Vanzo argues that the essence of a composite being is contingent, for Wolff (which runs counter to the view I will present in this paper), VANZO 2015, 247-249. I agree with Vanzo with respect to Wolff's view in the *Ontologia* (see WOLFF 1730, § 789, § 792). However, Vanzo also provides citations from the GM, implying that he believes that Wolff also held that essences of composite beings are contingent in the GM. While I agree that Wolff distinguishes between essences of

type of thing that is an individual which can stand for the universal, namely, a figure constructed from a pure geometric concept. Kant, thus, argues that the mathematical method cannot be employed within philosophy with the same efficacy as it can within mathematics.[6] On the basis of the distinction he draws between mathematical and philosophical cognition, Kant argues that while a geometric figure is an individual which is able to represent the universal, a thing in nature is not.

In this paper, I aim to explain why Wolff thinks that a thing in nature can be treated in this way. I will argue that Wolff's modal metaphysics presents nature as consisting of rigid essences and causal connections which, on my view, provides the grounds for him to employ a thing in nature like a geometric figure within the mathematical method. In response, I will discuss why Kant's critical philosophy precludes such a modal metaphysics. In order to achieve this goal, I will first sketch the mathematical method, as it is applied to natural philosophy by Wolff. I will only provide enough details to show, on my view, which demands Wolff's application of the mathematical method to philosophy makes on his modal metaphysics. I will, then, present the aspects of Wolff's modal metaphysics which are pertinent to the topic at

simple and composite beings in the GM, the passages Vanzo cites do not support the view that Wolff holds the essences of composite beings to be contingent in the GM. Thus, I restrict my interpretation that essences of composite beings are necessary for Wolff to the three above-mentioned texts. Although I do not have space to delve into this question here, a longer version of this paper would investigate how Wolff's view regarding essences of composite beings changes during his career and what this means for the mathematical method.

6 More specifically, Kant separates mathematical and philosophical cognition completely, which means that there is a distinct method proper to each type of cognition. However, because demonstrations that rely on non-constructed individuals, as we find in Wolff's mathematical method, must also be able to be used in *a posteriori* philosophical cognitions, for Kant, just not with apodictic certainty, I here state that said method "cannot be employed within philosophy with the same efficacy as it can within mathematics."

hand. In the second part of this paper, I will first address Kant's critical arguments which preclude treating a thing in nature like a geometric figure, as I interpret Wolff to do. Finally, I will take up why Kant thinks that the mathematical method cannot be used in natural philosophy with the same efficacy as it can within mathematics.

2. Wolff's Application of the Mathematical Method to Philosophy

On my interpretation, when Wolff applies the mathematical method to natural philosophy, he treats a thing in nature like a geometric figure.[7] For, Wolff takes himself to be able to draw a universal conclusion from an experience of an individual thing in nature with apodictic certainty. However, Wolff admits that one experience of a thing in nature can only yield individual propositions. How then does Wolff derive a universal conclusion from experience of an individual in nature? On my view, there are several steps involved, and several different ways that Wolff's philosophical system allows him to use the mathematical method; however, I will only focus on two here. The first, as I see it, relies upon an additional principle, which I call the «Generalisation Principle».[8] The Generalisation Principle states that a proposition about an individual event can be made general by including the condition under which the effect follows in the general proposition; Wolff presupposes, when employing this principle, that under the same conditions, the same

7 There have been a number of excellent discussions of Wolff's mathematical method, see, for example: CORR A. 1972, 324-329; ENGFER 1982, 48-61; DUNLOP 2014, 663-668; GOMEZ TUTOR 2004. Mine sets itself apart by comparing its use in mathematics to philosophy by focusing on the mathematical demonstration, see FRKETICH (unpublished manuscript).

8 FRKETICH (unpublished manuscript).

effect will always follow from the same cause.[9] The second is that Wolff connects a property to an essence in a demonstration such that it must be a property of all things of that kind. In this section, I will sketch Wolff's example of how he applies the mathematical method to natural philosophy to arrive at apodictically certain conclusions about things in nature.

In both mathematics and natural philosophy, Wolff employs the mathematical method to discover a subset of «the constant» (*das Beständige*) properties, or properties that make up the essence of a thing.[10] Wolff splits the constant properties into two groups: those which are not caused by one another, and those which follow from the first group.[11] The first group consists of the properties which are traditionally thought of as essential properties, namely, those properties which are always clearly present in a thing, for example, that a human being is rational. However, Wolff includes the second subset in his definition of an essence because these properties necessarily follow from the first and will always show themselves under the correct circumstances, for example, that a human being is capable of doing philosophy. They are what I will here call «essential dispositional properties». The mathematical method, in the example I will shortly investigate, serves to discover essential dispositional properties of the thing under investigation.[12]

9 See KU § 35; GL, Ch. 3, § 5. Wolff does not explicitly state that what I am calling the Generalisation Principle is that which allows for a thing in nature to be treated like a geometric figure in the mathematical method. Rather, Wolff simply states that the mathematical method uses this principle, as I have described it, without explaining why or how (KU § 35). I have assigned this principle this central role on the basis of the concrete examples discussed in this paper.

10 GL, Ch. 1, § 42.

11 *Ibid.*, § 48.

12 It may seem strange to call a property of a geometric figure, like the property that all internal angles of a triangle are equal to 180 degrees, an «essential dispositional property». Indeed, this description I assign to it may best fit things of nature, but Wolff's technical definition also fits geometric figures. For, properties like being a space en-

How does this work when the mathematical method is applied to philosophy? Wolff provides an example of how he applies the mathematical method to philosophy in his *German Logic*, chapter 4, § 25. In this example, he aims to prove the general proposition «that air has an elastic force».[13] In order to prove this, he first conducts a scientific experiment with a sample of air sealed in a bladder. He places the air in a controlled environment and removes all of the air surrounding the bladder. In this example, while the individual sample of air fulfills the same role as the drawn triangle in the mathematical example, the scientific experiment fulfills the same role as the addition of convenient lines to the triangle.[14] Once the surrounding air is removed, Wolff notices that the air in the bladder expands. He then employs this intuitive information from the scientific experiment to prove the general proposition that air has an elastic force in a demonstration with apodictic certainty.

Wolff is aware that the experience of the sample of air procures an individual proposition.[15] Nonetheless, he proves a universal proposition, with apodictic certainty, on its basis. On my interpretation, in a first step, he employs the Generalisation Principle to do so. For example, one proposition,

---

closed by three straight lines comprise the subset of essential properties which are not caused by one another. The property that all internal angles are equal to 180 degrees then follows necessarily from this first subset, but can only be proved under the correct circumstances, that is, when a line is drawn at the apex of the triangle parallel to its base (in order to reveal alternate angles between parallel lines), and when the correct principles are used within the demonstration (such as, the principle that all alternate angles between parallel lines are equal).

13 GL, Ch. 4, § 25.

14 'Convenient lines' here refer to the preparation of the drawn geometric figure. See the first paragraph of this paper, in which I provide the example of the geometrician adding a line at the apex of the triangle, parallel to its base, in order to prove the proposition that all internal angles of a triangle equal 180 degrees.

15 KU § 34.

which I interpret to be universal, and which is included in the demonstration that Wolff uses to prove the above enunciated proposition, is: «air expands the bladder, upon removing the resistance».[16] This proposition is taken from experience of the exhibited sample of air as it behaves in the scientific experiment. On my view, this proposition must be universal because it is used in a syllogism to prove a general proposition. As I understand it, Wolff takes himself to be able to arrive at this universal proposition from an individual experience because this proposition includes the condition, namely «upon removing the resistance», under which the specific effect follows, namely, that «air expands the bladder». In other words, this proposition has been made universal, from an individual proposition gleaned from one experience, by the Generalisation Principle.[17] This proposition, in turn, contributes to proving the minor premise of the next syllogism that I will discuss, namely, the syllogism in which Wolff takes himself to prove the proposition he set out to prove: that air has an elastic force.

The conclusion of the first syllogism of the demonstration Wolff provides, in his example of the mathematical method as it is applied to philosophy, is the general proposition he set out to prove. This syllogism is as follows:

16 For the full demonstration, see GL, Ch. 4, § 25. I will not provide the full demonstration here, since my intention is simply to explain one demand that the mathematical method, as it is applied to natural philosophy, makes on metaphysics, rather than to provide an extensive discussion of the mathematical method itself.

17 Wolff discusses several other «arts» and rules of logic which he employs in the mathematical method, for example, the «art of invention» (GL, Ch. 4, § 24), «figurative knowledge» (GM, § 324), «the art of the combination of signs» (GL, Ch. 4, § 22), enthymemes (GL, Ch. 4, § 17; GL, Ch. 4, § 21), etc. However, I will not discuss these arts, here, as they are not pertinent to the topic at hand.

1. That which begins to expand, on removing the resistance, has an expansive or elastic force
2. Air begins to expand, on removing the resistance[18]
3. Therefore, air has an expansive force[19]

The major and minor premises are both proved by subsequent syllogisms of the demonstration which I will not discuss in full in this paper. In this syllogism, as I understand it, Wolff connects the property of having an expansive force, or being elastic, to the essence of air; that is, he identifies it as an essential dispositional property of air. In so doing, he takes himself to prove that elasticity is a necessary property of every instance of air.

In this section, I briefly presented Wolff's example of how he uses the mathematical method in natural philosophy. I explained that this example involves the following: (1) the Generalisation Principle, and (2) an essential dispositional property. The questions I seek to answer now are what gives Wolff licence to employ the Generalisation Principle and to identify a necessary property of an essence in a demonstration? As I see it, the answer to both of these questions is that Wolff views nature to exhibit rigid regularities and

18 R. Lanier Anderson appears to reconstruct this syllogism such that its minor premise is singular, and thus concludes that the syllogism is invalid (ANDERSON 2015, 92). On my interpretation, this minor premise is general as I interpret it to be the general conclusion of another syllogism provided by Wolff which, I argue, employs the Generalisation Principle in order to transform the empirical data gleaned from the scientific experience into a general proposition. Anderson likewise recognises that Wolff believes that there is a rule which allows him to arrive at a general proposition from an individual experience, but Anderson does not use this rule to render the syllogism valid, as I do (ANDERSON 2015, 93), see FRKETICH (unpublished manuscript). Anderson and I, however, agree that Wolff's syllogism would not reassure any philosophers convinced by Hume's problem of induction.

19 This syllogism is taken verbatim from Wolff's GL, Ch. 4, § 25. I have added the premise numbers.

that this view of nature is grounded in Wolff's modal metaphysics.

3. Wolff's Modal Metaphysics: the General Characteristics of a Being

On Wolff's view, nature exhibits regularities which are explained by rigid essences and causal connections. This view of nature is grounded in his metaphysical principles. Wolff's general picture of metaphysics, as it pertains to the subject at hand, can be summarised as follows. God thinks the essences of all possible worlds, which consist in possible things and the causal networks between them.[20] God creates the best of all possible worlds, our world, by actualising its essence.[21] Actuality is that which differentiates our world, and all of the things existing therein, from the infinite number of other possible worlds and the possible things that populate them. Thus, the metaphysical principles of all possible worlds (the actual world included) are the same. However, for Wolff, there is an epistemological constraint which prevents finite human beings from knowing any possible things in any possible world other than the actual world.[22] Humans can know the metaphysical principles of all possible worlds by doing philosophy, but can only know the actual properties of things in the actual world.

In the principles comprising the first section of his *German Metaphysics*,

20 GM, § 952.

21 *Ibid.,* § 951.

22 For Wolff, a human knower cannot invent a concept of a possible thing *a priori*, for example, the concept of a unicorn. For, a human knower can only be sure that the concept of a thing is possible by experiencing the thing in reality (or proving it in a demonstration on the basis of that which follows from it). This has to do with the fact that a possible thing must fit into the causal network of its possible world, and the finite reason of a human knower is incapable of establishing whether this is the case. Since knowing the possible causal networks of a possible world is beyond the abilities of a finite mind, Wolff restricts human knowledge of any possible thing to knowing things of the actual world. See DUNLOP 2013, 467.

Wolff employs modal language to describe what a thing in general is. His «modal metaphysics», as they pertain to the topic at hand, can be reconstructed from these principles. For the purpose of explaining the metaphysical foundation Wolff needs in order to justify his use of the mathematical method in natural philosophy, I will focus on Wolff's principles about the following: the possible, a thing, an essence, and the necessary. Because I focus on Wolff's modal metaphysics insofar as it supports my interpretation of his mathematical method, I build the abovementioned epistemological constraint into the principles as I develop them.[23] This will become evident in my discussion of the principle of sufficient reason (PSR) and of the definition of essence.

It is important to note that Wolff's metaphysical principles regarding an essence and the necessary follow upon the PSR in Wolff's deduction of the GM. While Wolff defines «essence» and the «necessary» in terms of the principle of non-contradiction (POC), it is integral to the mathematical method as it is used in philosophy to identify the sufficient reason of a property in the thing (thus identifying the property as forming a part of its essence). For example, in the two steps, as discussed above, one identifies the ground, or cause, of an effect. While the Generalisation Principle involves identifying a ground external to the thing in question,[24] connecting a property to its essence in the demonstration involves connecting a property with the ground internal to the thing in question. I will not provide a complete reconstruction of Wolff's modal metaphysics, but rather one that focuses on explaining why Wolff is able to employ these two steps when he applies the mathematical

23 For a discussion of metaphysical possibility in itself, see STANG 2016, 15.

24 At least this is the case in the example I have discussed of air expanding, when the resistance is removed in a scientific experiment. However, the principle would also work with a ground that is internal to the thing in question, see KU, § 35.

method to philosophy. I will conclude that although Wolff is generally committed to an S5 modal logic, these two steps involve modal propositions which are even stronger than the characteristic S5-formula ($\Diamond p \rightarrow \Box\Diamond p$). It is precisely these instances which, on my view, allow Wolff to arrive at necessary propositions about things in nature from the experience of one thing.

I stated above that the mathematical method is used to draw out essential dispositional properties of the object of investigation. In order to understand what an essence is, for Wolff, one first has to understand what «a possible» and «a thing» are. In the following passage, Wolff explains the possible by way of the impossible, on the basis of the POC:

> Because nothing can be and not be at the same time, one knows that something is impossible, if it contradicts that of which we already know that it is or can be. […] From which one sees that the possible is that which does not contain anything contradictory in itself.[25]

According to the POC, nothing can both be and not be at the same time, as Wolff states in this passage. Wolff continues to explain that something is impossible if it contradicts something we already know to be the case or something that we experience is the case. We know, for example, on the basis of previous scientific investigations, that cats are self-moving. Therefore, to say that «a cat is not self-moving» is impossible because it contradicts our knowledge of the species «cat». I know, from experience, that a student wearing a blue T-shirt is sitting in the courtyard at this moment. Therefore, on the basis of the POC, I know that a proposition which predicates an opposing accident-

25 GM, § 12. All translations of quotations from texts which have not been translated are mine.

al attribute of a subject at the same time, as for example, the proposition that this same student wearing the blue T-shirt is located in a classroom at this moment, is impossible.[26] Thus, the possible, is a concept containing properties which do not contradict one another.

Wolff's definition of a thing is: «everything that can be, whether actual or not».[27] This definition refers to possibility in that it contains the phrase «everything that can be». That which «can be» is the possible, namely, a concept comprised of a set of properties which do not contradict one another. In fact, being possible is the only criterion for the concept of a thing. For, Wolff explicitly states that something does not have to be actual, that is, exist in our world, in order to be a thing.[28] Accordingly, the definition of a thing is merely that it be possible.

While the above principles were derived solely from the POC, the following also follow upon the PSR. Wolff enunciates the PSR as follows:

> Everything that is must (*muß*) have its sufficient reason (*zureichenden Grund*) as to why it is.[29]

What constitutes a «sufficient reason» of a thing? A «reason» is that through which one can understand why a thing is.[30] As Wolff explains, if thing A con-

26 An anonymous reviewer of *Noctua* asks what the status of a concept whose properties contradict each other, but do not contradict anything known or experienced by a human knower thus far might be. I agree with the reviewer's diagnosis, that such a concept is, by definition, impossible. However, it is simply not yet known to be impossible by any human knower.

27 GM, § 16.

28 For Wolff, only God knows all possible things (many of which do not exist in the actual world) (GM, § 953). A human knower can neither confirm nor deny the possibility of things in possible worlds which are not connected to the actual world, see footnote 21.

29 *Ibid.*, § 30.

30 *Ibid.*, § 29.

tains something in itself, from which one can understand why B is (where B can either be something in A or external to A), then A is the reason as to why B is.[31] In this relation, thing A is the actual «cause» of B. The explanation as to why something in A causes B is the «reason». Accordingly, it seems that while «cause» refers to an actual thing in the world, a «reason» pertains to knowledge claims about the relation between cause and effect. The goal of philosophising is to identify the reason as to why something is.[32]

Although many would not accept that the proposition «if A (where A is the sufficient condition of B), then B» follows directly from the PSR, it seems to me that Wolff must.[33] For, Wolff accepts the Generalisation Principle, as we have seen, and the Generalisation Principle allows one to make an individual proposition general so long as one includes the condition, or sufficient cause, of the effect expressed in the proposition. Such a proposition is nothing more than a hypothetical proposition. Thus, on my view, Wolff can only take this principle to work because it connects an effect to its sufficient cause in a proposition; and so long as this is the case, then the proposition is necessary, it will always hold.

Wolff's concept of an essence is the sufficient reason as to why a thing has the properties it has; it is the cause of the thing's having the properties it has.[34] Therefore, if one wants to explain why a thing has the properties it has in a philosophical investigation, one need only connect them to its essence in a demonstration. Along with the essence of a thing being the ground for why

31 *Ibid*.
32 WOLFF 1963, § 31.
33 Note that the «sufficient condition» cannot be «rain» alone, that is, it does not necessarily follow from the antecedent «rain» that the rock will become wet. Rather, the condition that the rock is sitting in the rain (unprotected from the rain by any impediments) must be contained within the antecedent for it to be a sufficient condition.
34 GM, § 33.

it has the properties it has, an essence is necessary, as Wolff explains in the following:

> Since the possible is necessary in itself, and the essence of a thing consists therein that it is possible in a specific way, then the essence is necessary.[35]

In this passage, Wolff clearly states that the essence of a thing is necessary.[36] For, an essence is the «in itself» of the possible; it consists in the essential and non-contradictory properties of a thing. An essence is necessary, as Wolff states in this passage, because the «in itself» of the possible is «necessary». This is the case because its opposite contains a contradiction; its opposite is impossible.[37] Recall that the first class of essential attributes (those that are not derived from one another) are the necessary cause of the second class of essential attributes, the essential dispositional properties, because the latter follow necessarily from the former. Once God actualises our world, all essential properties of every actualised thing are also actualised, and thus, exist in the actual world.[38] The inessential properties which can be attributed to the thing are limited by the thing's essence (and the POC); a thing can only take on cer-

35 *Ibid.*, § 38.

36 «Necessity» today is commonly used to refer to something that is the case in all possible worlds. Even if Wolff held this interpretation of necessity, on my interpretation, human knowers cannot be said to gain necessary knowledge, under this description of 'necessity', by way of a demonstration in the Wolff's version of the mathematical method. For, due to the epistemological constraint Wolff places on human knowers, the only possible worlds that a human knower can speak of within modal metaphysics are the possible worlds that one has access to by way of the actual world.

37 This shows that the definition of an essence, including its necessity, is derived from the POC. See STANG 2016, 18. Thus, while the properties comprising an essence are derived from the POC, the fact that the essence is the reason as to why a thing in the world has the properties it has, for Wolff, is derived from the PSR, on my understanding.

38 Although God did not have to create our world, and thus, the actuality of our world is contingent, the essences are still necessary because they are determined on the basis of the POC.

tain inessential properties that do not contradict the essential properties. However, a thing will not take on all of its inessential properties. For example, I may never become sunburnt, although being sunburnt is a possible inessential property that I could take on. Thus, while all essential properties, including essential dispositional properties, follow necessarily from the essence of the thing, inessential properties follow contingently from the essence of the thing.

From what has been said, thus far, a clear picture of Wolff's modal metaphysics, as it pertains to the topic at hand, can be reconstructed. For our purposes, the following propositions determine the language of Wolff's modal metaphysics:

$p \rightarrow \Diamond p$

$\Diamond p \rightarrow \Box\Diamond p$

$\Box$['for some property m and some sufficient cause of m, namely, c, p expresses that if c then m' $\rightarrow (\Diamond p \rightarrow \Box p)$]

$\Box$['for some object o and some essential attribute α, p expresses that o has α' $\rightarrow (\Diamond p \rightarrow \Box p)$]

The first proposition states that if p is the case, then p is possible. For example, from my experience that grass is green, the proposition «grass is green» is likewise possible. The second proposition states that if p is possible, then p is necessarily possible. This is the proposition which distinguishes an S5 modal system from weaker modal systems. The final two propositions, which follow upon the PSR, yield an even stronger rule for Wolff's modal system, on my view. The third proposition provides the underpinning for the Generalisation Principle and expresses the following: for any proposition which states that if the sufficient cause of m is the case, then m is also the case, that if that proposition is possible, then it is also necessary. For example, because I know that is possible from experience that if a rock is sitting outside and if it rains, then the rock will become wet, then I also know that this proposition is necessary. The final proposition combines Wolff's account of an essence with the PSR. It states that it is necessarily the case that for any proposition which states that a thing has a certain essential attribute, that if that proposition is possible, then that proposition is also necessary. For example, because I already know (from experience) that it is possible that a human being is rational, and that being rational is an essential attribute of a human being, I can conclude that it is necessary that a human being is rational. On my view, these four propositions form the foundation for treating a thing in nature like a geometric figure, as Wolff does when he applies the mathematical method to philosophy.

On my interpretation, Wolff's application of the mathematical method to natural philosophy depends on his modal metaphysics in the following manner. On my view, the Generalisation Principle is used to form general propositions to be used as premises in a scientific demonstration about information gleaned from the experience of one thing in nature. In the example I discussed, this step involves connecting an event with its sufficient cause external to it. The ultimate goal of the mathematical method, as Wolff applies it to philosophy, is to show that the ground of a property is contained within the thing in question. Take, for example, the first syllogism of Wolff's example in which he applies the mathematical method to natural philosophy (which relies on subsequent syllogisms in order to prove its premises), and which runs as follows:

4. That which begins to expand, on removing the resistance, has an expansive or elastic force
5. Air begins to expand, on removing the resistance
6. Therefore, air has an expansive force[39]

In this syllogism, Wolff connects the property of having an elastic force to the concept of air. Ultimately, as I see it, with this syllogism, Wolff takes himself to have proved that elasticity is a property belonging to the essence of air, that is, that elasticity is an essential dispositional property of air, and, therefore, elasticity is a property of every instance of air. On the basis of Wolff's modal metaphysics, as I have reconstructed it, as soon as one connects an individual property to the essence of a thing, one has shown that it is a part of the necessary cause of all things of that kind. Since an essence is necessary, as discussed, the properties which make up its essence are also necessary. This also holds for essential dispositional properties, which are a subset of the constant, or essential, properties for Wolff. Thus, to summarise, on my interpretation, the goal of the demonstration of the mathematical method, as applied to natural philosophy, is to demonstrate the origin of the property. Once the demonstration has shown that the property has its source in the thing, it has proved, as per Wolff's modal metaphysics, that said property is necessarily the case for all things of that type. Thus, in the mathematical

39 This syllogism is taken verbatim from Wolff's GL, Ch. 4, § 25. I have added the premise numbers.

method, as Wolff applies it to natural philosophy, an individual thing in the world can stand for the universal on the basis of his modal metaphysics.

4. Kant's Arguments against Accessing the Essence of a Thing in Experience

As we saw above, Wolff claims that one can learn what the essence of a thing is by means of experience. An «essence», for Wolff, is something ontologically distinct from human experience. In his *Transcendental Aesthetic*, by contrast, Kant argues that experience never provides insight into the so-called thing in itself (namely, that which is ontologically distinct from human experience). Kant's arguments on this score preclude Wolff's application of the mathematical method to natural philosophy within critical philosophy.

In the following passage, Kant criticises Leibniz and Wolff for thinking that we can know the constitution of things in themselves, albeit indistinctly, through sensibility:

> The Leibnizian-Wolffian philosophy has therefore directed all investigations of the nature and origin of our cognitions to an entirely unjust point of view in considering the distinction between sensibility and the intellectual as merely logical, since it is obviously transcendental, and does not concern merely the form of distinctness or indistinctness, but its origin and content, so that through sensibility we do not cognize the constitution [*Beschaffenheit*] of things in themselves merely indistinctly, but rather not at all.[40]

Kant claims that to Leibniz and Wolff, the difference between sensible images and the constitution of a thing in itself is a difference of degree, rather than a difference of kind. In this passage, by contrast, Kant argues that the difference

40 A44/B61-62.

is rather transcendental. That is, it pertains to two distinct modes of cognition: sensible and intellectual. While the sensible pertains to experience, the intellectual pertains to *a priori* cognition. As distinct modes of cognition, they cannot come to be known in the same way, for Kant. Sensible cognition can only be known by experience and intellectual cognition (the constitution of things in themselves) can only be known *a priori*.

I interpret «the constitution of things in themselves», in the above passage, to pertain to any *a priori* thing in itself which can only be known by way of the intellect. Thus, it could refer to an essence or any other *a priori* thing, for example, God, monads, the soul, etc. Because an essence, on Wolff's terms, is a thing, the properties of which we can intuit, and which we can come to have *a priori* knowledge of by way of the intellect, I interpret this passage to apply to Wolff's concept of essences.

As I see it, Kant's argument in the above quoted passage amounts to the claim that there is an equivocation in such concepts as, for example, Wolff's concept of essence. On the one hand, «essence» refers to something external to spatial-temporal appearances in that, for Wolff, it is the *a priori* concept of a thing. On the other hand, «essence» refers to the sum total of properties that human beings always experience (or can come to experience, in the case of essential dispositional properties) in a particular type of thing. The equivocation Kant seems to refer to is that the former is what Heidemann calls a «non-empirical thing in itself» and the latter is an «empirical thing in itself».[41] That is, the former does not stand under the subjective conditions of sensibility, namely, space and time; the latter, by contrast, does. Kant's point seems to be that while a non-empirical thing in itself is not knowable by way of experi-

41 HEIDEMANN 2011, 199.

ence, an empirical thing in itself is. As we saw above, Wolff thinks that both aspects of essences or both types of «things in themselves» are knowable by way of experience (albeit the former only by way of applying reason to experiential data). Thus, Kant's criticism applied to Wolff's concept of essence amounts to Wolff's slipping into what Kant views to be an unknowable description of an essence from a knowable one.

Wolff's application of the mathematical method to natural philosophy presupposes the view that there are rigid universal essences of things in nature that one can, in principle, come to know. These essences are both the *a priori* ground as to why things in nature have the constant properties they have and consist in a specific set of essential properties gleaned from experience. The mathematical method combines experience of things in nature (sensibility) with demonstrations (reason) such that one proves that a property experienced has its ground in the thing in question. Kant's view of what can be known by experience, by contrast, already precludes the claim that there are universal essences, which are the grounds of things in nature, and to which a human knower can have access in experience. Accordingly, it comes as no surprise that he argues that one cannot employ the mathematical method within philosophy, as I will now discuss.

5. Kant's Arguments against the Use of the Mathematical Method in Philosophy

Kant argues against the use of the mathematical method within philosophy on the grounds that doing philosophy and doing mathematics involve two distinct types of cognition. The method suitable to a type of cognition follows from the explanation of what each type of cognition consists in, for Kant.[42] Since the types of cognition are distinct and since the method follows from the type of cognition, the methods suitable to each are also distinct. I will now work through Kant's arguments against applying the mathematical method to natural philosophy in more detail.

For Kant, mathematical cognition is «rational cognition from the construction of concepts».[43] To construct a concept is to exhibit it in *a priori* intuition, according to Kant, for example, to exhibit a triangle (as is done in the mathematical method). Construction abstracts from particular qualities of the individual triangle, for example, being an equilateral or a right angle triangle, and focuses merely on its form: being a space enclosed by three straight lines.[44] The exhibited concept can only pertain to the *a priori* forms of space and time, for the concept must be capable of being exhibited in *a priori* intuition. Since only concepts of quantity can be represented in *a priori* intuition,[45] according to Kant, the exhibited concept must pertain to quantity. The result of construction is a geometric figure in *a priori* intuition. Since this figure is an individual which is exhibited according to its form contained in its concept, it is an individual which perfectly represents its concept. Accordingly, for Kant, the concept can be considered in the particular and the exhibited figure is a particular which represents the universal.[46]

Philosophical cognition, by contrast, is «rational cognition from con-

42 A726/B754-A727/B755.
43 A713/B741.
44 See Shabel 2003, 93. There are, of course, cases where one might investigate particular types of triangles, for example, equilateral or right angled triangles. In this case, one would not abstract from all particular qualities, but would maintain the qualities pertaining to the species in question.
45 A714/B742.
46 *Ibid*.

cepts».[47] That is, philosophical cognition is discursive; it must be mediated by concepts. In contrast to mathematical cognition, which considers the universal in the particular, the discursive nature of philosophical cognition means that it «considers the particular only in the universal».[48] *A posteriori* philosophical cognition is bound to *a posteriori* intuition, for Kant. Accordingly, it investigates qualities because qualities are bound to reality given in experience.[49] With this claim, Kant already precludes the use of an *a priori* demonstration to prove any *a posteriori* property of a thing to be the case of any instance of its kind, as Wolff does in his example of the elasticity of air. For, in order for the property of a thing to be proved of all instances of its kind in an a priori demonstration, the concept of the thing would have to be constructible, as was seen with mathematical cognition.

Kant illustrates the methods proper to mathematical and philosophical cognition respectively when he compares how a philosopher and a mathematician would proceed if they were asked to prove that the sum of the internal angles of a triangle is equal to 180 degrees.[50] While the mathematician would construct a perfect model of a triangle, adding lines to it such that, for example, alternate internal angles between parallel lines would be visible, as

47 A713/B741.

48 A714/B742. On Kant's view, philosophical cognition refers either to *a posteriori* intuition (A714-715/B742-743), in which case, the cognition is *a posteriori*, or to an object in possible intuition, in which case, the cognition is *a priori* (A719/B747). If a philosophical cognition is *a priori*, as Kant briefly explains in this section, then the transcendental conditions of an object in possible intuition are investigated. An important part of this investigation involves delineating the *a priori* concepts that do not contain an *a priori* intuition (that is, concepts that cannot be constructed), but rather only contain a rule of synthesis of possible intuitions (namely, the categories) (A719/B747). Kant employs *a priori* philosophical cognition in, for example, the Transcendental Deduction, in order to ground the necessity of the categories *a priori*. In this paper, however, I focus on *a posteriori* philosophical cognition.

49 A714-715/B742-743.

50 A716/B744.

discussed above, the philosopher (who is, in Kant's example, only able to employ philosophical cognition) would only be able to analyse the concept of a triangle. In this way, the mathematician would be able to prove the proposition in question in the mathematical method, with recourse to the individual triangle, as described above. The philosopher, by contrast, would only arrive at more distinct concepts of straight line, angle, and enclosing a space. Kant's illustration tells us that the mathematician is able to add new properties to the concept in question, *a priori*. By contrast, the philosopher is only able to analyse the concept in question, *a priori*. Accordingly, in the *a priori* methods suitable to both types of cognition, only the mathematician is able to draw out properties which follow necessarily from the definition of the thing in question. The philosopher, by contrast, cannot do so *a priori* and, therefore, cannot do so with apodictic certainty.[51]

Kant further argues that the mathematical method involves definitions, axioms, and demonstrations, all of which depend upon the constructability of mathematical cognition. I will here just briefly address what Kant says about definitions and demonstrations, since they are most relevant to the topic at

51 On my interpretation of this example, in contrasting what Kant takes to be the *a priori* methods proper to mathematical and philosophical cognition, he shows that while the mathematical method is able to add new properties not previously contained in the concept of the thing under investigation, the method proper to philosophy is not able to do so. With this example, Kant shows that because a philosophical cognition cannot be constructed, the philosopher cannot achieve what the mathematician can. How does this discussion fit with my interpretation of Kant's criticisms of Wolff? On my view, it implicitly shows that, by Kant's lights, Wolff actually uses the method of the mathematician in philosophy, that is, Wolff takes himself to exhibit or construct a thing in nature by way of a scientific experiment in the same way as the mathematician constructs a mathematical cognition. Thus, I do not take Kant to insinuate that Wolff uses analysis when he does natural philosophy. Rather, I take him to provide us with the grounds to see that, on Kant's view, Wolff actually illicitly uses the method proper to mathematics, in natural philosophy, but that this is not actually a method available to the philosopher.

hand. First, Kant argues against using the order of explanation of the mathematicians when he argues that a philosopher cannot imitate mathematicians by beginning with definitions.[52] Definitions, for Wolff, refer either to nominal or real definitions, the latter of which pertains to the essence of a real thing, as per the example of air being elastic discussed above.[53] Regarding definitions of empirical concepts, Kant argues that they cannot be proved, for otherwise they would not be able to stand at the beginning of a demonstration.[54] However, as we saw, Wolff takes himself to prove that elasticity is an essential property of air. Further, Kant argues that empirical definitions cannot be exhaustive, for it is impossible to know the exhaustive concept of a thing given in experience.[55] Since essential properties also include essential dispositional properties, which only reveal themselves under certain circumstances, for Wolff, it is impossible to ensure that all essential properties have been discovered. Finally, Kant argues that one cannot be sure that one has maintained the definition within its boundaries, that is, that one has included only the necessary properties in one's concept.[56] For, Kant argues that while one person will include certain properties in the concept, like the malleability of gold, others will not. Kant concludes from these arguments that empirical concepts cannot be defined, in the strict sense of being self-evident, exhaustive, and within proper boundaries, but rather can only be explicated, in the sense of having definitions of words suitable for picking out their correct instances.[57]

Kant expands on his claim that demonstrations rely on mathematical

---

52 A730/B758.
53 KU § 2.
54 A727/B755.
55 *Ibid*.
56 *Ibid*.
57 A730/B758.

cognition by elaborating on the only type of experience a philosophical cognition can offer to a demonstration. In this context, Kant states that «experience may well teach us what is, but not that it could not be otherwise».[58] As I understand this passage, Kant is saying that nature only show us facts by way of the senses; it does not give us any sort of guarantee that it exhibits regularities or that any thing in nature is the way it is with necessity. Accordingly, as Kant puts it, it does not show us that it could not be otherwise. Or, to apply this to the discussion about essences at hand, experience does not provide us with material from which to adduce the non-empirical thing in itself.

6. Conclusion

As I have argued, Wolff employs information from one thing in nature to arrive at universal and apodictically certain conclusions in the mathematical method. In this paper, I have presented Wolff's modal metaphysics which provide a foundation for Wolff's view that essences and causal connections in nature are rigid, and which, in turn, allows for him to have a thing in nature stand for the universal within the mathematical method.

Against this view, as I have discussed, Kant argues that a human knower cannot access an essence under the description of a thing independent of the human forms of space and time by way of experience. For Kant, such an essence amounts to some X which is external to all possible experience, a non-empirical thing in itself about which we can know nothing. Accordingly, for Kant, such a description of an essence cannot be relied upon in order to be able to employ the mathematical method in natural philosophy with apodictic certainty. Furthermore, Kant argues that experience cannot teach us that it

58 A734/B762.

could not be otherwise, that it cannot give us guarantees. With this claim, as well as his sharp distinction between mathematical and philosophical cognition, Kant argues against Wolff's metaphysical principles which allow for Wolff to demonstrate rigid essences and causal connections in nature on the basis of one experience.[59]

ELISE FRKETICH

KATHOLIEKE UNIVERSITEIT LEUVEN

59 This paper has been made possible by the generous support of the Flanders Research Foundation. I would also like to thank Marco Storni for organizing the conference «Philosophy and Mathematics at the Turn of the Eighteenth Century: New Perspectives» and these proceedings, as well as the anonymous reviewers of *Noctua* for their invaluable input.

BIBLIOGRAPHY

ANDERSON 2015 = R. LANIER ANDERSON, *The Poverty of Conceptual Truth: Kant's Analytic/Synthetic Distinction and the Limits of Metaphysics*, Oxford, Oxford University Press.

CORR 1972 = CHARLES A. CORR, «Christian Wolff's Treatment of Scientific Discovery», *Journal of the History of Philosophy* 10:3 (1972), 323-334.

DUNLOP 2013 = KATHERINE DUNLOP, «Mathematical method and Newtonian science in the philosophy of Christian Wolff», *Studies in History and Philosophy of Science* 44 (2013), 457–469.

DUNLOP 2014 = KATHERINE DUNLOP, «Arbitrary combination and the use of signs in mathematics: Kant's 1763 Prize Essay and its Wolffian background». *Canadian Journal of Philosophy* 44:5-6 (2014), 658-685.

ENGFER 1982 = HANS-JÜRGEN ENGFER, *Philosophie als Analysis: Studien zur Entwicklung philosophischer Analysiskonzeptionen unter dem Einfluß mathematischer Methodenmodelle im 17. und frühen 18. Jahrhundert*, Stuttgart-Bad Cannstatt, Frommann-Holzboog.

FRKETICH (unpublished manuscript) = ELISE FRKETICH, «Wolff and Kant on the Mathematical Method». (Unpublished manuscript), KU Leuven: Department of Philosophy.

GOMEZ TUTOR 2004 = JUAN IGNACIO GOMEZ TUTOR, *Die wissenschaftliche Methode bei Christian Wolff*, Hildesheim, Georg Olms Verlag.

HEIDEMANN 2011 = DIETMAR HEIDEMANN, «Appearance, Thing-in-Itself, and the Problem of the Skeptical Hypothesis», in DENNIS SCHULTING, JACCO VERBURGT (eds.), *Kant's Idealism: New Interpretations of a Controversial Doctrine*, Dordrecht, Springer, 195-210.

KANT 1998 = IMMANUEL KANT, *Critique of Pure Reason*, Eng. transl. and ed. by PAUL GUYER, ALLEN W. WOOD, Cambridge, Cambridge University Press.

SHABEL 2003 = LISA SHABEL, *Mathematics in Kant's Critical Philosophy: Reflections on Mathematical Practice*, London, Routledge.

STANG 2016 = NICHOLAS F. STANG, *Kant's Modal Metaphysics*, Oxford, Oxford University Press.

VANZO 2015 = ALBERTO VANZO, «Christian Wolff and Experimental Philosophy», in DANIEL GARBER, DONALD RUTHERFORD (eds.), *Oxford Studies in Early Modern Philosophy, Volume VII*, Oxford, Oxford University Press, 225-255.

KU [*Kurzer Unterricht*] = CHRISTIAN WOLFF, *Kurzer Unterricht von der mathematischen Methode oder Lehrart*, in *Anfangsgründe aller mathematischen Wissenschaften Anfangsgründe aller mathematischen Wissenschaften*, in *Gesammelte Werke*, 12.I, ed. by JOSEPH EHRENFRIED HOFMANN, Hildesheim, Georg Olms Verlag (1st ed. 1710).

GM [*German Metaphysics*] = CHRISTIAN WOLFF, *Vernünftige Gedancken von Gott, der Welt und der Seele des Menschen, auch allen Dingen überhaupt*, in *Gesammelte Werke* I/2, ed. by CHARLES A. CORR, Hildesheim, Georg Olms Verlag (1st ed. 1719).

WOLFF 1963 = CHRISTIAN WOLFF, *Preliminary Discourse on Philosophy in General*, Eng. transl. by RICHARD BLACKWELL, Indianapolis, Bobbs-Merill 1963 (*Discursus praeliminaris de philosophia in genere*, in *Philosophia Rationalis sive Logica*, Frankurt-Leipzig, in Officina libraria Rengeriana, 1-104).

WOLFF 1730 = CHRISTIAN WOLFF, *Philosophia prima sive ontologia methodo scientifica pertractata qua omnis cognitionis humanae principia continentur*, Frankurt-Leipzig, in Officina libraria Rengeriana.

GL [*German Logic*] = CHRISTIAN WOLFF, *Rational Thoughts on the Powers of the Human Understanding*, eng. transl. of the German of BARRON WOLFIUS, London, Printed for L. Hawes, W. Clarke, and R. Collins. (*Vernünftige Gedanken von den Kräften des menschlichen Verstandes und ihrem richtigen Gebrauche in Erkenntnis der Wahrheit*, Halle 1713).

Comment sortir du labyrinthe

Condillac critique de Spinoza, entre *mos geometricus* et langue des calculs

Diego Donna

Introduction

« Nous naissons au milieu d'un labyrinthe, où mille détours ne sont tracés que pour nous conduire à l'erreur »[1]. C'est par ces mots que Condillac ouvre dans son *Traité des systèmes* (1749) sa critique des métaphysiques du XVII^e^ siècle, laissant transparaître plus d'une perplexité sur les capacités de l'esprit humain de donner un sens aux matériaux complexes de ses idées. L'abbé considère en effet nécessaire d'ajouter un autre élément à son enquête gnoséologique présentée trois ans auparavant dans l'*Essai sur l'origine des connaissances humaines* (1746). L'*Essai* se concentrait sur l'origine sensible de nos idées, s'inscrivant dans le socle de Locke. La critique aux systèmes philosophiques du *Traité* non seulement confirme la gnoséologie de l'*Essai*, mais en constitue également la mise à l'épreuve. L'objectif du *Traité des systèmes* est de surmonter les obstacles épistémologiques qui empêchent de remonter à la génération des connaissances, mais aussi d'offrir un nouveau modèle de « système » déjà évoqué en conclusion de l'ouvrage en 1746[2].

1 Condillac 1947, vol. I, *Traité des systèmes*, II, 127.

2 Cf. Condillac 1947, vol. I, *Essai sur l'origine des connaissances humaines*, II.2-4, 104-118. Pariente, Pécharman 2014, 301, note 1, ajoutent : « la référence à l'*Essai* sera par la suite remplacée par la référence à *L'Art de penser*, II.1, où Condillac ne fait guère que repro-

Noctua, anno IV, n. 1-2, 2017, ISSN 2284-1180

Le but des pages qui suivent sera d'approfondir la connexion entre théorie de la connaissance et théorie de la méthode dans l'œuvre de l'abbé par le biais de ce qu'il considère être dans le *Traité* une des aberrations principales nées dans le sillage du cartésianisme, c'est-à-dire le spinozisme. La théorie spinozienne des idées repose pour l'abbé sur le paradoxe d'une production ou génération spontanée des idées dans l'attribut divin de la pensée. Il s'en suit un dynamisme autonome de l'idée vraie sur lequel Spinoza élabore la thèse de la *causa sui*, c'est-à-dire une cause qui demeure en soi-même pour produire tout ce qui dérive de sa propre nature. Dans son traité sur les systèmes métaphysiques du XVII^e siècle Condillac propose ainsi une analyse critique de l'esprit géométrique, faisant plus en général de l'analyse et de la synthèse, ou de la décomposition et du calcul, les instruments d'investigation de tous les aspects de la vie cognitive et pratique de l'homme : de la théorie de la connaissance à la langue, de l'économie au droit. Dans tous les cas, comme dans une équation, la fin est précédée par le commencement dans un développement circulaire. Cette circularité est pour Condillac le signe distinctif d'une langue parfaite – ou *Langue des calculs*, comme l'explicite le titre de son dernier ouvrage – qui permet de démontrer tant sur le plan de la connaissance que sur celui de la logique que le début coïncide avec la fin. C'est à elle que Condillac donne le soin de réunir l'abstrait et le concret, au-delà des ruines de la métaphysique classique.

C'est à ce point qu'émergent toutefois de sérieuses difficultés. De quelle façon la nouvelle idée de système s'éloigne des mauvaises métaphysiques du passé ? Et de quelle façon le nouvel « esprit systématique » reformule-t-il le rapport entre empirisme et raison ? Si, comme beaucoup de commentateurs

---

duire le présent chapitre :». Cf. aussi CONDILLAC 1947, vol. I, *Traité des systèmes*, XI, 194.

l'ont relevé[3], la réflexion de Condillac est parcourue par la tension entre une théorie empirique de la connaissance et la logique de système, il s'agira de comprendre en quoi le nouveau modèle de langue parfaite s'éloigne de l'adéquation spinozienne contestée entre être et pensée. Esprit systématique et esprit de système se révéleront être beaucoup plus proches de ce qu'il n'y paraissait à première vue. Comme nous le verrons, l'une est l'image renversée de l'autre.

1. Genèse et calcul

La critique de Condillac du système spinozien prend forme à la fin des années quarante, alors qu'il se consacre à la critique des systèmes abstraits. Le *Traité des systèmes*, paru en 1749, s'est tout de suite révélé absolument novateur. Personne en France n'avait jusqu'alors dédié une étude aux philosophies de la première modernité en en offrant une taxonomie et une analyse critique approfondie. Les historiens sont unanimes à accorder aux premières études de théologie et de philosophie auxquelles Condillac a été introduit par son frère un rôle central dans sa formation, alors qu'étaient en vogue les thèses métaphysiques allant de l'innéisme cartésien à l'intuitionnisme de Malebranche[4]. Ce bagage de connaissances ne fera cependant naître en Condillac

3 Cf. l'étude désormais classique de DAL PRA 1942, 344-351. Le problème du rapport entre empirie et raison est depuis toujours au centre de l'historiographie condillacienne, voir par exemple : AUROUX 1988, AUROUX 1981 ; PÉCHARMAN 1999 ; ROUSSEAU 1986 ; PAGANINI 1992, 166-178 ; CHARRAK 2003.

4 Une partie fondamentale de ses études se déroule selon toute vraisemblance au collège Mazarin de Paris, où l'enseignement des sciences physiques et mathématiques était associé à la philosophie, et la géométrie euclidienne était complémentaire à l'étude d'Aristote. Entre autres enseignants on y trouve J. A. Geffroy († 1752), lequel tempère la philosophie scholastique d'éléments de physique et philosophie cartésiennes, le tout dans un cadre occasionaliste. Pour une reconstruction de la biographie intellectuelle et des thématiques voir la section *Biographie du Corpus Condillac* (SGARD 1981) ainsi que PARENTI 1965 ; KNIGHT 1968.

ni une foi ardente ni une science théologique, mais se révélera central lorsque, après avoir abandonné ses études, il s'aventurera dans la République des Lettres, entrant en contact par l'intermédiaire de Madame de Tencin avec les plus grands intellectuels de l'époque, de Fontenelle à Rousseau, de Diderot à d'Alembert, de Voltaire à Turgot.

Condillac se montre parfaitement conscient des enjeux du choix de méthode effectué par Spinoza : le problème ne réside pas tant dans la préférence pour la méthode synthétique par rapport à celle analytique, mais au contraire dans la théorie des idées qui donne sa substance à ce choix. En d'autres termes, Spinoza ne s'est pas limité à substituer la voie de l'exposition à celle de la découverte, mais il a justifié la démarche synthétique à partir d'un automatisme de la production de l'idée vraie. Dans ce dynamisme spontané présumé de l'idée, en mesure de produire ou expliquer tout ce qui dérive de son essence ou nature, réside la clef de voûte de l'ontologie de la *causa sui*. L'idée d'une cause qui produit tout ce qui dérive de sa propre nature conduit pour Condillac à l'identité entre unité et multiplicité, cause et effet, qui nie toute différence. La contradiction est évidente selon Condillac, tant par rapport à la logique que par rapport au bon sens naturel. « Cause de soi-même : l'expression – déclare l'abbé – n'est pas exacte. Le mot cause dit relation à quelque chose de distinct de soi, car un effet ne se produit pas par lui même »[5]. « Il [Spinoza] entend par cause de soi-même ce dont on ne peut concevoir la nature, qu'on ne la conçoive existante »[6]. Et pourtant, en définissant la substance comme « ce qui est la cause de soi-même » à quoi se réfère l'expression « ce qui » sinon à quelque chose dont nous ne connaissons absolument pas la nature ? Il ne faut pas s'en étonner, conclut ironiquement Condillac : ni Spi-

5 CONDILLAC 1947, vol. I, *Traité des systèmes*, X, art. 1, 170.
6 *Ibid.*

noza, ni les philosophes avant lui n'ont donné idée de la chose qu'ils veulent faire « signifier au mot substance »[7].

Le philosophe hollandais soutient que les vérités qui proviennent de l'esprit sont le reflet des objets externes, mais en fait, répond Condillac, il a construit des chaînes de raisonnement rigoureuses où manque toute vérité objective. L'attaque à l'innéisme cartésien en constitue la prémisse : Spinoza a radicalisé le statut des idées claires et distinctes dans la thèse d'une génération spontanée de ces dernières dans l'attribut divin de la pensée. Mais si on remonte à leur génération vraie, on démasque le néant de leur fondement. La théorie de la *causa sui*, c'est-à-dire d'une cause qui demeure en elle-même pour produire tout ce qui découle de sa propre essence ou nature, confond pour Condillac ce qui est clair et distinct dans la sensation avec des définitions axiomatiques de termes « frivoles ». C'est pour ce motif que la distinction entre les opérations de l'esprit ne doit pas être fétichisée, nous met en garde l'abbé, au risque de tomber dans l'erreur commune à la fois à la scolastique et aux philosophes postcartésiens. Il faut mener jusqu'au bout l'analyse des connaissances en évitant la réification des principes.

La lecture du spinozisme faite par Condillac est donc très importante pour l'histoire de la philosophie : ce n'est ni l'ontologie ni le choix de la méthode qui explique la nature du système spinozien, c'est plutôt la théorie de l'idée vraie que Spinoza rend équivalente au concept de cause ou essence de la géométrie euclidienne qui fonde selon l'abbé le vrai centre du *mos geometricus*. « Le premier objet d'un philosophe doit être de déterminer exactement ses idées ». L'intitulé de l'œuvre l'*Éthique démontrée selon la méthode géométrique*, poursuit-il, « annonce des démonstrations géométriques.

7 *Ibid.*, 172.

Or deux conditions sont principalement essentielles à ces sortes de démonstrations, la clarté des idées et la précision des signes. La question est de savoir si Spinoza les a remplies »[8]. À la différence de Bayle, qui avait mis en évidence les conclusions contradictoires auxquelles la théorie de la substance unique porte, Condillac analyse les prémisses qui ont porté à cette issue. Pour lui, le monisme métaphysique résulte du paradoxe d'une idée considérée capable de se générer elle-même dans tous ses effets. Spinoza la justifie à partir de la théorie euclidienne de la définition et prétend d'en démontrer l'adéquation à la structure ontologique de la réalité. Mais en fait, pour Condillac, Spinoza a simplement ignoré comme Descartes avant lui la vraie origine des idées. Condillac critique donc le contenu des définitions spinoziennes se demandant quelle est leur origine. Là où l'usage correct de la raison s'arrête aux propriétés des choses, Spinoza donne à ces dernières des essences imaginaires, en confondant les noms avec les choses. Infinité, essence, perfection, cause, substance sont des mots et non des idées puisqu'ils n'ont aucune origine empiriquement attribuable.

Si à distance de trois siècles on examine les événements historiques qui ont porté à la formation du *mos geometricus* de l'*Éthique*, on s'apercevra alors de l'innovation que la lecture condillacienne avait représentée pour son époque. Les efforts de Spinoza sont en effet dirigés vers un problème éthique et non méthodologique, c'est-à-dire déterminer la forme de l'idée capable de produire une connaissance parfaite. De cette connaissance dérivera une félicité aussi stable que permanente (*felicitas*, avait déclaré Spinoza dans le *Traité de la réforme de l'entendement*, *beatitudo mentis* dans l'*Éthique*)[9]. La connaissance

8 *Ibid.*, 170.
9 Spinoza 1925, vol. II, TIE, 7-9 ; E, II, schol. prop. 49, 135-136 ; E, III, schol. prop. 39, 170 ; IV, app., 267.

parfaite n'est évidemment pas l'imagination, qui se compose de perceptions mutilées et confuses, mais au contraire celle qui produit ou explique des propriétés données sur la base de causes ou d'essences. Dans tous les cas, la priorité donnée par Spinoza à la méthode déductive est subordonnée au vrai but de la recherche : présenter les formes d'une connaissance parfaite. Cette connaissance sera la source d'une réelle béatitude en ce qu'elle correspond à des causes ou à des essences.

C'est Meyer, d'ailleurs, et non pas Spinoza, dans sa préface de 1663 au commentaire spinozien des *Principes* de Descartes, qui souligne la distinction entre les deux voies de la découverte et de l'exposition dans ce que le correspondant du philosophe d'Amsterdam appelle méthode mathématique[10]. De cette façon, dans sa préface aux *Principes*, Meyer établit une vraie opposition entre méthode analytique et méthode synthétique, dont on ne trouve pas la trace dans Descartes, lequel avait au contraire revendiqué la complémentarité nécessaire des deux voies, ni à la rigueur dans Spinoza lequel ne thématisera jamais la distinction entre « ordre analytique » et « ordre synthétique ». La raison en est évidente et Condillac démontre en être pleinement conscient : pour le philosophe d'Amsterdam ce n'est pas la distinction formelle entre méthodes qui construit le sens de la philosophie, mais au contraire la capacité de présenter à travers une structure formelle de définitions et d'axiomes, le dynamisme autonome de l'idée vraie. Pour Spinoza la question de la méthode ne se pose même pas : la vraie méthode, avait déclaré le philosophe, n'est pas la recherche, mais au contraire la possession d'une idée vraie donnée, connue en tant que telle et employée comme « norme » (*norma*) pour

10 « Methodo atque certitudine mathematica demonstratas ». Cf. SPINOZA 1925, vol. I, PPC, 127-133. Pour la comparaison avec Descartes sur l'élaboration spinozienne de la méthode et l'intervention de Meyer, voir entre autres : MOREAU 2005, 63-66 ; DE DIJN 1986, 55-78 ; KLAJNMAN 2006.

déduire toutes les idées qui lui sont compatibles[11]. Du reste, la recherche des signes ou critères de la vérité conduirait à une régression à l'infini : une fois en possession de la vérité, la *via* se manifeste d'elle-même. Pour utiliser la formule célèbre du *Traité de la réforme de l'intellect*, « la méthode n'est rien d'autre qu'une connaissance réflexive ou l'idée de l'idée »[12].

Condillac comprend parfaitement l'arrière-plan métaphysique qui est au fondement de la théorie spinozienne de l'idée vraie et à celui-ci il oppose l'analyse algébrique. L'idéal d'une mathématisation immédiate des faits psychiques constitue en effet selon l'abbé le revers d'une généalogie des idées, laquelle commence et se termine dans la sensation en tant que matière première de la connaissance. D'autre part, l'analogie entre opérations mathématiques et opérations psychiques est rendue possible par le fait que la connaissance même procède de façon analytique. Composition et décomposition sont les instruments que Condillac applique avant tout à l'analyse de nos connaissances. La déduction géométrique spinozienne est la négation de tout cela, puisqu'elle se fonde sur une idée vraie, considérée comme en mesure de générer d'elle-même ses conclusions. Mais l'esprit ne fonctionne pas de cette façon répond l'abbé. La connaissance n'est pas une fonction spirituelle autonome qui produit en vertu de sa propre puissance un enchaînement d'idées, mais au contraire l'effet combiné des différents degrés de sensation : attention, imagination, mémoire. La sensation est la connaissance même qui s'enroule et se déroule sous formes diverses[13].

Ainsi, l'édifice condillacien de la connaissance est fondé sur un mécanisme élémentaire et il est reflété dans un système d'équivalences : de la sen-

11 Cf. Spinoza 1925, vol. II, TIE, 15. Cf. aussi *ibid.*, 13, 31.
12 *Ibid.*, 15-16. Cf. Vinciguerra 2005.
13 Cf. Condillac 1947, vol. III, *Dictionnaire des synonymes*, 511-512.

sation, principe de l'activité cognitive, à la sensation transformée, où culmine l'activité du raisonnement. « Nous n'avons expliqué – déclare l'abbé dans *La Logique* – la génération des facultés de l'âme que parce que nous avons vu qu'elles sont toutes identiques avec la faculté de sentir ». Et il conclut que comme les équations « passent par différentes transformations », la sensation « passe également par différentes transformations pour devenir l'entendement »[14]. La sensation est le fait, ou la donnée naturelle, à laquelle arrive la décomposition analytique. Elle constitue aussi la synthèse originelle de toutes les autres opérations de l'âme et est à la base de toutes les modifications de la conscience. De la sensation on passe à l'attention qui est une forme plus complexe de sensation et qui à son tour conduit au jugement. Le raisonnement sera enfin une succession de jugements renfermés l'un dans l'autre.

Comme dans une équation, Condillac voit donc l'activité psychique comme à la fois un processus et une unité. Toutes les fonctions de la connaissance sont rattachées les unes aux autres. L'analyse les décompose, le raisonnement les enchaîne dans une vision d'ensemble. « Une langue bien faite devrait être comme un tableau mouvant – conclut-il – dans lequel on verrait le développement successif de toutes nos connaissances »[15]. De façon analogue, dans l'analyse algébrique une identité s'exprime en raison de sa répétition, mais toutefois pas selon le mouvement unidirectionnel des axiomes spinoziens. Condillac répètera plusieurs fois dans ses écrits que la connaissance doit être réduite à un calcul, dont l'algèbre est le modèle, mais non pas selon une identité imposée arbitrairement par la méthode, comme cela advenait selon Descartes en raison de la clarté et de la distinction des idées innées, ni selon une pluralité d'idées liées par le monisme abstrait de la *causa sui* de

14 CONDILLAC 1947, vol. II, *La Logique*, II.7-8 , 409, 411.
15 CONDILLAC 1947, vol. II, *La Langue des calculs*, I.3, 427.

Spinoza. Dans les intentions de l'abbé, le calcul n'est même pas l'abstrait mécanicisme calculateur de Hobbes. Il se présentera plutôt comme un processus où la génération de chaque moment trouve une pleine signification dans la synthèse entre abstrait et concret.

2. Cause, essence, substance. Les mots de la métaphysique

Newton et Locke donnent sans doute un rude coup à la métaphysique classique, le premier se débarrassant de la *mathesis* cartésienne, avec ses chaînes de raisons transparentes à l'esprit mais lointaines du monde physique, le second supplantant la *pura mens* de Descartes avec une physique expérimentale de l'esprit. Condillac porte aux extrêmes conséquences l'esprit analytique du premier et l'empirisme du second en cherchant à les synthétiser dans un nouvel esprit systématique, modelé sur l'algèbre. L'analyse est l'instrument qui permet l'élucidation des vrais rapports entre les choses puisqu'il ne présuppose pas, comme les définitions synthétiques, ce qu'il s'agit de démontrer. Comme en psychologie le problème consistait à déterminer l'origine sensible des idées, ainsi dans la géométrie et les sciences physiques il importe de produire des analyses minutieuses et impartiales de la matière dont sont faites nos idées. Sensation et réflexion constituent pour Condillac l'origine et la mise en forme du réseau d'idées qui composent l'esprit : « c'est proprement la réflexion qui distingue, compare, compose, décompose et analyse ; puisque ce ne sont là que différentes manières de conduire l'attention »[16]. La démarche de l'*Éthique* va en sens contraire, compliquant le simple et réduisant le concret à l'abstrait. Il en découle une simple logomachie. Les définitions sont ajustées aux thèses qu'elles doivent expliquer et n'offrent

16 CONDILLAC 1947, vol. I, *Essai sur l'origine des connaissances humaines*, I, II, 9 IV, 493.

aucune définition génétique de ses propres sujets.

Rompre l'enchaînement des axiomes et des définitions : voilà la tâche du philosophe, c'est-à-dire conduire l'intelligence humaine vers une idée de système plus respectueuse des limites de la connaissance. Le mot « système », conclut l'abbé, a un sens seulement si on le libère des abus de la « mauvaise métaphysique » :

> Un système n'est autre chose que la disposition des différentes parties d'un art ou d'une science dans un ordre ou elles se soutiennent toutes mutuellement, et ou les dernières s'expliquent par les premières […]. Les notions abstraites sont absolument nécessaires pour mettre de l'ordre dans nos connaissances, parce qu'elles marquent à chaque idée sa classe. Voilà uniquement quel en doit être l'usage. Mais de s'imaginer qu'elles soient faites pour conduire à des connaissances particulières, c'est un aveuglement d'autant plus grand, qu'elles ne se forment elles-mêmes que d'après ces connaissances.[17]

L'abbé poursuit ainsi dans l'analyse du principe qui affirme l'antériorité de la substance par rapport à ses modes. Cette thèse est exposée dans la première proposition de la première partie de l'*Éthique* et dans sa démonstration, dont le *Traité des systèmes* nous donne un commentaire détaillé :

> Ce qu'il appelle substance, soit qu'il y ait dans la nature quelque chose de semblable, ou non, est, selon la façon dont il le conçoit, antérieur de nature à ce qu'il appelle affections. Car il faut remarquer que cette proposition et sa démonstration ne peuvent être appliqués qu'aux mots substance et affections, puisque Spinoza n'a pas encore prouvé qu'il y ait nulle part des êtres auxquels les définitions de la substance et des modes puissent appartenir. Quand on s'est fait l'idée du sujet de la substance de la manière que j'ai indiquée, on réalise cette idée, toute vague qu'elle est, et aussitôt on conçoit ce sujet comme existant avant les modes qui viennent successivement s'y réunir.[18]

---

17 CONDILLAC 1947, vol. I, *Traité des systèmes*, I, 121-122.
18 CONDILLAC 1947, vol. I, *Traité des systèmes*, X, art. 3, 176.

Loin de démontrer l'adéquation entre être et pensée, Spinoza projette des catégories subjectives sur les choses :

> Les signes des géomètres ont non seulement différentes significations, par rapport à l'entendement, mais encore par rapport aux choses […]. Quoiqu'on n'ait aucune idée de ce qu'on nomme substance, on a imaginé le mot essence pour signifier ce qui constitue la substance […] et enfin celui d'attribut pour signifier l'essence.[19]

En commentant le rapport entre substance, essence et attribut, Condillac accuse le hollandais de ne pas avoir fourni de définition de ces termes, ce qui rend incompréhensible la proposition qui veut qu'une chose possède autant plus de réalité qu'elle n'a d'attributs : « Attribut signifie-t-il quelque chose de différent de la réalité ? En ce cas, que sera-t-il, et pourquoi y aurait-il d'autant plus d'attributs qu'il y aurait plus de réalité ? »[20].

En ce qui concerne le lien entre cause première et cause efficiente, subrepticement justifiée pour Condillac par l'idée de « cause de soi », Spinoza insère les termes de la scolastique à l'intérieur d'une structure définitoire de laquelle il revendique la clarté et la distinction. Mais de fait, le lexique spinozien est une phraséologie latine, à laquelle l'abbé applique la méthode de la remontée à l'étymologie des termes et à leur origine matérielle : « On retrouvait dans les noms des idées qui échappaient aux sens, les noms même des idées sensibles d'où elles viennent […]. La bonne métaphysique a commencé avant les langues […] mais cette métaphysique était alors moins une science qu'un instinct »[21]. De là découle l'exigence d'une enquête généalogique qui remonte à l'usage primitif des termes, démasquant la fausse prétention que

19 *Ibid.*, art. 1, 172.
20 *Ibid.*
21 CONDILLAC 1947, vol. II, *La Logique*, II.4, 400.

les noms donnés aux choses correspondent à la structure objective de ces dernières plutôt qu'à nos besoins :

> Un philosophe qui aurait été capable de s'exprimer d'après la nature des choses, leur eût parlé sans pouvoir se faire entendre […]. Ce qui arrive aux enfants qui apprennent les langues, est arrivé aux hommes qui ont faites. Ils n'ont pas dit, faisons une langue : ils sont senti le besoin d'un mot, et ils sont prononcé le plus propre à représenter la chose qu'ils voulaient faire connaître.[22]

La théorie spinozienne de la connaissance est en revanche une construction formelle, artificielle et abusive, laquelle postule des principes qui ne sont pas en mesure d'expliquer quoi que ce soit. Prenons par exemple l'articulation célèbre entre la cause première et la série de causes finies :

> Puisque toutes être fini doit être déterminé par une cause finie (prop. 28), quelque effort que fasse Spinoza pour prouver que tout est déterminé par Dieu, il ne peut empêcher qu'il n'y ait selon son système deux ordres de choses tout-à-fait indépendantes : premièrement l'ordre de choses infinies qui suivent toutes de la nature absolue de Dieu, ou de quelqu'un de ses attributs modifiés d'une modification infinie ; en second lieu, l'ordre de choses finie qui suivent toutes les unes des autres, sans qu'on puisse remonter à une première cause infinie qui les ait déterminées à exister.[23]

Il n'est pas anodin de noter que la critique condillacienne aux notions abstraites fait écho à celle de Spinoza, bien que les deux philosophes en tire des conclusions diamétralement opposées. Nous nous référons en particulier aux *Pensées métaphysiques* (1663), c'est-à-dire les considérations se trouvant en appendice au commentaire spinozien des deux premières parties des *Principes* de Descartes. Dans celles-ci Spinoza trace une distinction très claire entre

22 CONDILLAC 1947, vol. I *Grammaire*, I.2, 432-433.
23 CONDILLAC 1947, vol. I, *Traité des systèmes*, art. 11, 190.

« êtres de raison » et « êtres physiques et réels » et en déduit une critique de l'abstraction. Condillac partagera dans le fond la même approche nominaliste mais la renverse contre la théorie de la connaissance du Hollandais.

3. L'abstraction selon Spinoza et Condillac

Condillac et Spinoza avancent une réflexion analogue sur les limites de la connaissance abstractive. Comment se présente le statut des idées abstraites, ou ce que Spinoza appelle « êtres de raison » ? Spinoza part du présupposé qu'un principe est abstrait s'il se révèle incapable d'expliquer la nature ou l'essence de quelque chose. Les entités abstraites, ou « êtres de raison », déclare le philosophe dans les *Pensées métaphysiques*, parmi lesquelles les notions des mathémati ques, expliquent l'ordre, l'accord et la divergence entre les choses. C'est pour cette raison, poursuit-il, qu'elles sont extrêmement utiles à la science. Le problème, comme il l'avait déjà établi dans le *Traité de la réforme de l'entendement*, est que « lorsque l'on conçoit quelque chose d'abstrait, comme le sont tous les universaux, l'esprit comprend toujours au delà des objets particuliers correspondant »[24]. Il le répétera dans l'*Éthique*, en critiquant non seulement les notions abstraites de la scolastique mais en limitant même le pouvoir de la raison ou des « notions communes » de la connaissance du deuxième genre.

Que sont les notions communes ? Et de quelles façons se distinguent-elles des notions abstraites ou êtres de raison ? Dans l'*Éthique* Spinoza affirme que l'esprit connaît de façon adéquate s'il n'est pas guidé « par la rencontre fortuite des choses – mais – toutes les fois qu'il est disposé de l'intérieur »,

24 SPINOZA 1925, vol. II, TIE, 37 (SPINOZA 1954, 129) ; CM, I.1, 233-237 ; vol. I, KV, 2, 16, 80-84. En ce qui concerne le statut théorique des *entia rationis*, voir SUÁREZ 1965, d. 54.

voyant leurs « convenances, différences et oppositions »[25]. Cela est rendu possible grâce aux idées des propriétés communes[26]. Alors que le premier genre de la connaissance dérive dans l'*Éthique* de l'expérience sensible et se compose d'images ou signes, le deuxième consiste en l'idée de ce qui est commun à tous les corps, c'est-à-dire les modes infinis – mouvement et repos –, exprimés dans l'attribut de l'extension et reflétés par l'esprit sous la forme d'idées adéquates ou de notions communes. Le troisième saisit enfin l'essence des choses singulières les déduisant directement de l'essence éternelle des attributs infinis de la substance.

Évidemment, le contexte métaphysique de l'*Éthique* est profondément différent par rapport au cadre épistémologique des premières enquêtes spinoziennes. L'analyse des égalités et différences entre les choses est rendue possible par les notions communes : ces dernières, ajoute Spinoza, doivent être distinguées à la fois des « universaux » et des « êtres de raison »[27]. Les notions communes, par rapport aux êtres abstraits ou de raison, sont le reflet logique de la structure objective de la réalité matérielle. L'applicabilité universelle des lois (causalité, intelligibilité) et des axiomes ne doit pas être confondue avec les notions universelles qui n'ont aucune adhérence avec le plan concret de la nature. Ce à quoi les notions communes se réfèrent n'est jamais une notion abstraite de l'imagination, mais le *continuum* réel de la substance. La notion abstraite de quantité, poursuit Spinoza dans les lettres[28], c'est celle dont se sert la science physique pour résoudre les compositions réelles des

25 SPINOZA 1925, vol. II, E, II, prop. 29, schol. 2, 114 (CAILLOIS, FRANCÈS, MISRAHI 1954, 386) ; vol. II, TIE, 34.

26 SPINOZA 1925, vol. II, E, II, prop. 40, schol. 2, 122 : « notiones communes rerumque proprietatum ideas adaequatas ».

27 *Ibid.*

28 Spinoza a Meyer, Ep. 12 : SPINOZA 1925, vol. IV, 56-57. Cf. aussi vol. II, E, I, prop. 15, schol., 59 ; E, I, def. 4, 45 ; E, II, prop. 40, schol. 1, 121.

corps dans le domaine symbolique de la géométrie ; en revanche, les notions communes ne sont ni des « classes » par le biais desquelles répartir les modes de la substance en entités discrètes, ni des notions universelles, tirées par abstraction des choses sensibles. Dans le cadre de l'*Éthique* les notions communes ont la fonction de construire une science générale des corps, identifier les propriétés fondamentales de la matière et formuler une physique générale.

Quel est toutefois le rapport entre les deux premières formes de connaissance – imagination et raison – par rapport à la connaissance intuitive ou intellectuelle ? Peut-on affirmer que comparer et analyser la composition des modes équivaut à pénétrer l'essence des choses singulières ? Les *Pensées*, dans le sillage du lexique scolastico-cartésien, avaient approfondi le fossé entre « êtres réels » et « êtres de raison »[29]. Dans le *Traité de la réforme de l'entendement* Spinoza rappelle l'exigence de distinguer avec le plus grand soin le caractère inadéquat des deux premières formes de perception – sens et imagination – ainsi que celui seulement partiellement adéquat de la troisième par rapport à la compréhension intuitive des essences[30]. Étant donné que les idées ou perceptions de troisième genre du *Traité* sont comparables à la connaissance rationnelle ou de deuxième genre dans l'*Éthique* – toutes deux sont relatives à la solution de problèmes scientifiques –, reste à savoir si la connaissance adéquate du deuxième genre de l'*Éthique* est une connaissance d'essences ou bien de relations entre les choses. Si cette dernière pénètre en effet de façon adéquate dans la structure ontologique de la réalité, puisqu'elle en est le reflet logique dans l'attribut de la pensée, Spinoza précise que la connaissance du deuxième genre examine les concordances, les différences et

29 Cf. SPINOZA 1925, vol. I, CM, I, 1, 233-237.
30 Cf. SPINOZA 1925, vol. II, TIE, 39.

les oppositions entre les choses. En cela consiste son efficacité, mais aussi son caractère partiel : la raison est une vision « sous une certaine espèce d'éternité »[31]. Une « certaine espèce d'éternité », dit-il, puisque la raison n'exprime aucune essence ou cause prochaine. Selon les termes de l'*Éthique* : « ce qui est commun à tous les corps et qui est à la fois dans la partie et dans le tout ne constitue l'essence d'aucun objet simple »[32]. Seulement dans le troisième genre de la connaissance l'intuition de la réalité singulière correspond à celle de l'infinie puissance de la substance. Et dans cette perspective la persévérance dans l'existence des choses finies se révèle éternelle.

Le passage de l'imagination à l'entendement apparaît donc problématique : même si on admet que la raison, se plaçant entre les deux, sert de pont, comme généralement le revendiquent les commentateurs[33], elle n'exprime aucune essence singulière. En d'autres termes, la notion du commun se situe dans une zone de frontière : ni perception sensible, ni être purement abstrait, comme le sont les êtres logiques et les universaux de la scolastique, il ne rend même pas compte des essences singulières des choses. Par contre, l'entendement, ou la connaissance qui dépend du seul esprit (*ad solam mentem refertur*), constitue la plus grande « pulsion » de l'esprit. Elle consiste en effet, conclut Spinoza, dans le désir de connaître par le biais du troisième genre (*cupiditas cognoscendi*)[34].

Condillac n'aurait eu aucun mal à partager la condamnation spino-

31 SPINOZA 1925, vol. II, E, II, prop. 44, cor. II, 399.
32 *Ibid*., prop. 37, 118 (SPINOZA 1954, 872). Cf. aussi SPINOZA 1925, vol. II, TIE, 9-11.
33 Voir le classique GUEROULT 1974, 451-456, 472-473, qui défend la continuité entre déduction et intuition : « La science n'est pas alors dite intuitive uniquement parce qu'elle est la vision de la chose elle-même, mais aussi parce que la cause par laquelle la chose est conçue est sa cause immédiate, si bien que vision de la cause de la chose et vision de la chose sont ramassées dans une seule et même vision ».
34 Cf. SPINOZA 1925, vol. II, E, V, prop. 5-6, 284 ; prop. 28, 297.

zienne de la mauvaise abstraction. Pour les deux philosophes, les notions abstraites n'ont pas d'équivalent objectif dans la réalité. Selon les termes de l'abbé : « les notions abstraites ne sont que des idées formées de ce qu'il y a de commun entre plusieurs idées particulières »[35]. Comme « les êtres de raison » spinoziens, ces notions sont toutefois utiles aux fins de classification propre à la science : « c'est par une classe générale que je dois commencer – déclare l'abbé – quand je veux me représenter rapidement une multitude de choses »[36]. Observons la proximité de ce passage tiré de la *Logique* avec la critique de Spinoza aux termes abstraits dans la deuxième partie de l'*Éthique* :

> Il n'y a point d'homme en général. Cette idée partielle n'a point de réalité hors de nous [...]. Elle n'a une réalité dans notre esprit que parce que nous la considérons comme séparée de chaque idée individuelle ; et par cette raison nous la nommons abstraite [...]. Quand par exemple, je pense à homme, je ne puis ne considérer dans ce mot qu'une dénomination commune.[37]

> C'est de causes semblables que sont nées les notions que l'on appelle Universelles, telles que homme, cheval, chien, etc. Par exemple, il se forme à la fois dans le corps humain tant d'images d'hommes, qu'elles dépassent la force d'imaginer [...] suffisamment pour que l'esprit ne puisse imaginer ni les petites différences qui existent entre ces hommes singuliers, ni le nombre déterminé de ces hommes ; il n'imagine distinctement que cela seul qui est commun à tous.[38]

La proximité des deux philosophes s'interrompt toutefois une fois arrivé sur le versant constructif de la critique. La nature concrète, ou le particulier vers lequel tend l'abbé, n'a rien à voir avec la détermination essentielle des choses invoquée par Spinoza. Pour Condillac, il n'est pas possible de parvenir à la

35 CONDILLAC 1947, vol. I, *Traité des systèmes*, I, 122. La critique à la pensée critique est reprise dans l'*Éthique* dans le scolie de la proposition 40 de la deuxième partie, où le philosophe s'attaque aux universels de la scolastique (« être », « chose », « homme »).

36 CONDILLAC 1947, vol. I, *Traité des systèmes*, I, 124. Cf. MACHEREY, LAGRÉE 1993, 241-253.

37 CONDILLAC 1947, vol. II *La Logique*, II.4, 401.

38 SPINOZA 1925, vol. II, E, prop. 40, schol. 1, 121 (SPINOZA 1954, 393-394).

genèse de la réalité concrète en passant à travers les causes ou les essences, à moins qu'on ne puisse démontrer que les termes « cause » et « essence » soient quelque chose de plus que de simples mots. « Chacun peut connaître, par sa propre expérience, que les idées sont plus faciles, à proportion qu'elles sont moins abstraites et qu'elles se rapprochent davantage des sens »[39].

La question est renversée en ce qui concerne Spinoza. Tout d'abord, seules les idées vraies sont « norme à elles-mêmes », ce qui invalide l'enquête condillacienne sur l'origine des idées : la recherche des critères (*criterium*) qui garantissent le statut de vérité des idées conduirait à une inacceptable régression à l'infini. Une fois en possession d'une idée vraie, établit Spinoza, le problème de la vérification de la vérité ne se pose même plus. « Concevoir » une chose selon son essence équivaut *ipso facto* à en être conscient : « personne ne peut savoir ce qu'est la suprême certitude en dehors de qui possède une idée adéquate ou l'essence objective de quelque chose »[40]. La vérité, ou idée vraie, se manifeste d'elle-même sans aucun besoin de signes ou de critères externes qui la justifient : « la vérité ne requiert aucun signe »[41]. Ceci signifie en second lieu que les idées ne sont ni des images, ni des sensations ; si les images, comme dans le cas de la prophétie, ont besoin de signes ou d'éléments de preuve pour être vérifiées, les idées sont la norme même de la vérité.

Pour le philosophe hollandais la seule connaissance qui ne soit pas abstraite, c'est-à-dire supérieure à la fois au plan de l'imagination et de la raison discursive, est la connaissance intellectuelle qui saisit la genèse des réalités

---

39 CONDILLAC 1947, vol. I, *Traité des systèmes*, II, 124.

40 SPINOZA 1925, vol. II, TIE, 15 (SPINOZA 1954, 37). VILJANEN 2011 a lu récemment dans cette perspective la physique spinozienne à travers le prisme d'un « essentialisme dynamique » qui renvoie à la théorie de la définition élaborée par Spinoza dès ses premières enquêtes sur la théorie de la connaissance.

41 SPINOZA 1925, vol. II, TIE, 15.

singulières à partir de leur « essence ». Condillac accuse ce type de connaissance intellectuelle d'offrir des explications génétiques seulement d'apparence : les essences spinoziennes sont pour l'abbé des abstractions, ou ce que le philosophe d'Amsterdam aurait défini des êtres de l'imagination, c'est-à-dire des propositions non démontrées. Pour ce motif, le style géométrique se fonde sur des argumentations vides. Spinoza aurait renvoyé les accusations à l'expéditeur : la sensation, c'est-à-dire l'élément que l'abbé pose à la base de la connaissance n'est qu'une donnée obscure et confuse, son origine étant une affection corporelle. Si la vraie connaissance provient de la définition de causes ou essences, l'enquête de Condillac sur la genèse des idées se révèle complètement inefficace : la sensation est toujours l'effet des déterminations corporelles qui opèrent sur le corps ; pour cette raison, à la différence des idées de l'intellect, elle ne pourra jamais être norme d'elle-même.

Tant Spinoza que Condillac fondent donc leur réflexion sur le problème de l'abstraction en vue du retour à la réalité concrète et singulière. Pour tous les deux, il faudrait substituer aux définitions faites de mots creux une pensée sans abstractions : idées claires et distinctes, selon Spinoza, que l'intellect exprime dans les démonstrations ou les « yeux » de l'esprit ; une langue des calculs, répondra Condillac, résultat d'une sensation traduite dans le système des signes. Il faudrait cependant se demander à ce stade ce qui distingue le principe condillacien de la sensation de celui spinozien de l'idée vraie. Quant à leur statut, tous deux semblent en effet réduire la dynamique de la pensée à un système d'identité. Selon Spinoza, du point de vue de Condillac, cette identité est renfermée dans l'attribut divin de la pensée ; dans la théorie de la connaissance de l'abbé cette identité est l'identité du sensible, la sensation étant début et fin de la connaissance. On touche ici le versant constructif, mais aussi le plus problématique de la critique condillacienne.

4. Qu'est-ce qu'une langue des calculs ?

Condillac refuse nettement le type d'adéquation entre ordre des idées et ordre des choses sur lequel Spinoza fonde l'idée de « cause de soi-même ». Les choses perçues ne sont pas celles qui sont données en nature : pour Condillac ne subsiste aucune garantie que les schémas de perception et organisation de la réalité, desquels nous dérivons les rapports de cause à effet, correspondent à la structure de la réalité. Ni cause ni essence, peu importe si appliquées à la définition d'entités géométriques ou à l'expressivité de la substance infinie, n'expliquent selon l'abbé la genèse de rien, ces dernières étant des notions purement abstraites. Dans l'*Essai sur l'origine des connaissances humaines* l'abbé avait remarqué que nous ne percevons pas les objets externes mais seulement nos idées que l'expérience suggère être compatibles à la structure des choses : « soit que nous nous élevions, pour parler métaphoriquement, jusques dans les cieux ; soit que nous descendions dans les abîmes, nous ne sortons point de nous mêmes ; et ce n'est jamais que notre propre pensée que nous apercevons »[42].

La bonne métaphysique, ou science parfaite, ne correspond donc en rien pour Condillac au modèle antique de la science qui déduit les effets des causes ; c'est le même modèle que Spinoza avait élaboré dans l'*Éthique*. Le problème, insiste l'abbé, est que seuls les individus concrets et singuliers existent, alors que classes et relations sont des façons de concevoir les choses limitées à l'usage de nos expériences et en accord à nos besoins. Plus on s'éloigne de la perception des choses singulières, en classifiant, en générali-

42 CONDILLAC 1947, vol. I, *Essai sur l'origine des connaissances humaines*, *Introduction*, 5.

sant, en abstrayant, plus le lien entre idées et choses devient faible. De là les conclusions nominalistes du raisonnement condillacien : les systèmes philosophiques, *in primis* la logique du système de Spinoza, ont prétendu saisir la structure interne de la réalité singulière partant d'une fausse conception de l'évidence ; les idées claires et distinctes des cartésiens ne sont que des catégories réifiées dont il est impossible de retrouver l'origine sensible. Les erreurs de système dérivent d'une fausse métaphysique des idées ; la méthode synthétique spinozienne sera remplacée par la voie empirique de Locke à la connaissance. N'importe quel système abstrait part dans tous les cas de la fausse prémisse que la connaissance des choses particulières puisse dériver d'idées générales. Le seul système universellement valable est celui qui se fonde sur des faits empiriquement observables. L'abbé en recommande l'usage le plus large possible, de la théorie de la connaissance à la physique, de la politique aux arts, ainsi que dans toutes les autres disciplines[43].

Nous aurons ainsi un double effet : d'un côté pour Condillac une explication scientifique est systématique seulement si elle s'adapte non pas à des occurrences singulières mais à des classes de phénomènes ; de l'autre, aucune idée claire et distincte ne peut naître de suppositions non vérifiées par l'expé-

43 Cf. CONDILLAC 1947, vol. I, *Traité des systèmes*, II, 125. Le terme système, entré en usage en français déjà à partir de la fin du XVII[e] siècle, couvre un vaste champ de questions, de la systématisation des thèmes ou parties d'un sujet d'étude à la présentation d'un corps de connaissances, organisé selon l'ordre géométrique ou euclidien de l'exposition. Dans un contexte scientifique, le mot système indique aussi le style hypothético-déductif de la science cartésienne toujours plus contestée entre les années trente et quarante du XVIII[e] siècle avec l'avènement de la physique newtonienne. L'historiographie qui a prêté attention à la controverse du XVIII[e] sur les systèmes tend généralement à distinguer entre les métaphysiques déductivistes, ou *a priori*, de type cartésien, qui voudraient pénétrer les causes premières de la nature en construisant des systèmes généraux de l'univers, et les défenseurs de la voie *a posteriori*, inspirée par Locke et Newton et basée sur l'expérience. Voir, parmi les études: GAY 1967, chap. 3 ; HANKINS 1985 ; BORGHERO 2005, 433-469 ; RISKIN 2002.

rience. Dans ce sens les hypothèses sont pour Condillac des principes directeurs vers de nouvelles observations et expériences[44]. Le but de la loi est d'expliquer une série de phénomènes en accord avec l'usage pratique de notre raison ; si l'intelligibilité de la nature devait se révéler partielle, l'important est qu'elle soit compatible avec nos besoins[45]. Les confusions de l'ontologie spinozienne dérivent en revanche des confusions du langage, lequel mêle pensée et être produisant toutes les antinomies du système : d'un côté l'idée de cause conçue *in se* et *per se*, comme le veut le deuxième axiome de la première partie de l'*Éthique*, de l'autre ses modes singuliers. La causalité interne de la « substance infinie » est un axiome dont le lien avec la causalité efficiente des modes finis n'est pas expliqué. Leur point de connexion est pour Condillac un essentialisme abstrait.

Et pourtant, Condillac ne renonce pas à une interaction réciproque entre modèles mentaux, langage et monde extérieur. Déjà dans la première page de l'introduction à l'*Essai sur l'origine des connaissances humaines* il avait affirmé que « quelles que soient nos connaissances, si nous voulons remonter à leur origine, nous arriverons enfin à une première pensée simple, qui a été l'objet d'une seconde et ainsi de suite. C'est cet ordre de pensée qu'il faut développer, si nous voulons connaître les idées que nous avons des choses »[46]. Dans *La Langue des calculs* il ajoutera que cet ordre équivaut à un calcul, c'est-à-dire une opération qui est non seulement simple mais qui est la plus naturelle.

44 CONDILLAC 1947, vol. I, *Traité des systèmes*, XII, 201.

45 L'exemple en est l'idée appropriée, c'est-à-dire non abstraite ou métaphysique de système, que Condillac applique à la politique, au chapitre XV du *Traité des systèmes*. La politique est une machine, soutient l'abbé, où force et harmonie doivent travailler de concert ; le législateur en étudie les phénomènes sur le plan de l'observation empirique et en extrait les lois. Cf. CONDILLAC 1947, vol. I, *Traité des systèmes*, XV, 207-210.

46 CONDILLAC 1947, vol. I, *Essai sur l'origine des connaissances humaines, Introduction*, 5.

C'est à ce point qu'émergent des difficultés. Tout d'abord, l'idée condillacienne de nature est très compliquée à établir puisqu'elle se situe à cheval entre la dimension sensible de la connaissance et son articulation dans le langage ; deuxièmement, la thèse de la naturalité du langage algébrique comme courroie de transmission entre pensée et langage se révélera très problématique. Selon la *Logique* :

> L'algèbre est en effet une méthode analytique : mais elle n'en est pas moins une langue, si toutes les langues sont elles-mêmes des méthodes analytiques […]. Mais l'algèbre est une preuve bien frappante que les progrès des sciences dépendent uniquement des progrès des langues […] ; car dans l'art de raisonner, comme dans l'art de calculer, tout est réduit à des compositions et à des décompositions.[47]

Dans cette perspective, entre les lignes du projet de recherche de Condillac on voit beaucoup plus que la simple radicalisation de l'esprit empiriste des Lumières. Le rapport entre les deux niveaux, celui de la décomposition analytique et celui de la mise en série des données, est un rapport circulaire :

> Si nous pouvions – dira Condillac dans *L'Art de Penser* – dans toutes les sciences, suivre également la génération des idées, et saisir partout le vrai système des choses, nous verrions d'une vérité naître toutes les autres, et nous trouverions l'expression abrégée de tout ce que nous saurions dans cette proposition identique, *le même est le même* [en italique dans le texte].[48]

---

47 CONDILLAC 1947, vol. II, *La Logique*, II.7, 409. Sous cet aspect, les mathématiques sont sans aucun doute pour Condillac la science la plus simple ; les sciences physico-mathématiques appliquent le calcul à l'expérience, analysant les propriétés communes des corps ; la physique expérimentale est enfin plus complexe par rapport à l'analyse. Quelque soit l'angle d'observation, reste la prétention de remonter au fondement naturel de la langue mathématique. Cf. *ibid.*, II.8, 410-411.

48 CONDILLAC 1947, vol. I, *L'Art de penser*, I.10, 749. Dans ce sens, comme le soutient RIEU 1982, 38 : « la langue/algèbre a pour principal caractère de faire disparaître tout arbitraire […]. Le nom est dès lors moins pensée sur le modèle du nombre que de la lettre algébrique, de l'algorithme parce qu'il est immédiatement opératoire ».

Dans l'*Essai*, l'abbé avait déjà démontré que dans les processus psychiques l'unité minimale de la sensation n'évolue pas, mais au contraire se transforme dans les degrés les plus complexes de la connaissance[49]. Cependant seul un esprit infini, conclut l'abbé, serait en mesure d'en apercevoir la parfaite identité. Le paradoxe est célèbre : dans la vision intuitive de Dieu, « chaque vérité est comme deux et deux font quatre, il les voit toutes dans une seule »[50]. Une vision devenue toutefois inaccessible à l'homme suite à l'obscurcissement de sa capacité de raisonner une fois sorti de l'état de l'innocence :

> Un enfant qui apprend à compter, croit faire une découverte la première fois qu'il remarque que deux et deux font quatre […]. Il y a deux raisons qui font qu'une proposition identique en elle même est instructive pour nous. La première, c'est que nous n'acquérons que l'une après l'autre les idées partielles, qui doivent entrer dans une notion complexe […]. La seconde raison est dans l'impuissance où nous sommes d'embrasser à la fois distinctement toutes les idées partielles que nous avons renfermées dans une notion complexe […]. Un système peut n'être qu'une seule et même idée.[51]

La tentative de synthèse opérée par Condillac du plan de la logique et celui de la réalité sensible présente ainsi des aspects très problématiques. D'abord, parce que là où les évidences de la raison reflètent la structure logique idéale de tout système, les évidences de fait marquent les limites de la connaissance humaine, laquelle rarement réussit à réduire la série des raisonnements dans l'instantanéité d'un simple regard.

Ce que Condillac conteste aux systèmes abstraits, dont le *mos geometri-*

49 Pour reprendre les mots de Foucault, il s'agit de souder une *mathesis* comme science de l'ordre calculable à une *genèse* comme analyse des ordres empiriques. FOUCAULT 1966, 89.

50 CONDILLAC 1947, vol. I, *L'Art de penser*, I.10, 748.

51 *Ibid.*, 748-749.

cus spinozien représente l'exemple le plus grave, c'est d'avoir établi un une fétichisation des catégories philosophiques, incapables de remonter à la genèse de ses présupposés. Quel est toutefois le résultat du refus du monisme spinozien ? La recherche de l'abbé culmine de fait dans une nouvelle circularité qui prétend remonter de la sensation au système logique d'une « langue bien faite ». Artifice algébrique et formalisme linguistique sont dans cette perspective les accusations que Maine de Biran adressera à la méthode condillacienne[52]. Condillac répondrait en définissant le caractère concret de sa logique, s'inspirant de l'algèbre contre la méthode géométrique-déductive. Pour lui, les axiomes de l'*Éthique*, ne pouvant montrer leur propre origine, s'étaient révélés être le dévoiement plutôt que la cause de la nature concrète des choses. « Il serait peu raisonnable d'appliquer la dénomination de cause de soi-même à une chose dont on ne connaîtrait pas la nature »[53], déclarait l'abbé contre la circularité abstraite du concept spinozien de cause de soi. La même logique circulaire qui caractérise le rapport entre origine et développement dans la logique du système de Condillac.

DIEGO DONNA
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

52 En dépit des corrections apportées au *Traité des sensations*, les accusations d'idéalisme et formalisme abstrait continueront en effet à marquer la psychologie condillacienne jusqu'à Maine de Biran, qui oppose au modèle condillacien de la statue de marbre qui s'ouvre passivement et successivement aux divers sens, le modèle d'une statue vivante avec son « effort immanent ». Cf. MAINE DE BIRAN 2000, 144, 358-359, 371. Pour la réception critique de la théorie de la connaissance condillacienne cf. GOUHIER 1970 ; BAERTSCHI 1982.

53 CONDILLAC 1947, vol. I, *Traité des systèmes*, 10, art. 1, 170.

BIBLIOGRAPHIE

AUROUX 1988 = SYLVAIN AUROUX, *La raison, le langage et les normes*, Paris, PUF.

AUROUX 1981 = SYLVAIN AUROUX, *Condillac ou la vertu des signes. Introduction à* La Langue des calculs, Lille, Presses Universitaires de Lille III.

BAERTSCHI 1982 = BERNARD BAERTSCHI, *L'ontologie de Maine de Biran*, Fribourg, Éditions Universitaires Suisse.

BIRAN (1804) 2000 = MAINE DE BIRAN, *Mémoire sur la décomposition de la pensée*, F. Azouvi (éd.), Paris, Vrin.

BORGHERO 2005 = CARLO BORGHERO, «L'analisi da Descartes a Kant», *Giornale critico della filosofia italiana* 84:3 (2005), 433-469.

CHARRAK 2003 = ANDRÉ CHARRAK, *Empirisme et métaphysique. L'*Essai sur l'origine des connaissances humaines *de Condillac*, Paris, Vrin.

CONDILLAC 1947 = ÉTIENNE BONNOT DE CONDILLAC, *Œuvres philosophiques*, éd. par GEORGES LE ROY, 3 vols., Paris, PUF.

DAL PRA 1942 = MARIO DAL PRA, *Condillac*, Milano, Bocca.

DE DIJN 1986 = HERMAN DE DIJN, « Conception of Philosophical Method in Spinoza : Logica and *Mos Geometricus* », *Review of Metaphysics* 40 (1986), 55-78.

FIRODE 2005 = ALAIN FIRODE, « Le Cours de philosophie d'Adrien Geffroy », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, 38, *La Formation de d'Alembert*, Paris, Société Diderot, 203-224.

FOUCAULT 1966 = MICHEL FOUCAULT, *Les mots et les choses*, Paris, Gallimard.

GAY 1967 = PETER GAY, *The Enlightenment: an Interpretation. The Rise of Modern Paganism*, New York, Knopf.

GOUHIER 1970 = HENRI GOUHIER, *Maine de Biran par lui-même*, Paris, Seuil.

GUEROULT 1974 = MARTIAL GUEROULT, *Spinoza II. L'âme*, Hildesheim-New

York, Olms.

HANKINS 1985 = THOMAS L. HANKINS, *Science and the Enlightenment*, Cambridge, Cambridge University Press.

KLAJNMAN 2006 = ADRIEN KLAJNMAN, *Méthode et art de penser chez Spinoza*, Paris, Kimé.

KNIGHT 1968 = ISABEL F. KNIGHT, *The Geometric Spirit. The Abbé Condillac and the French Enlightenment*, New Haven and London, Yale University Press.

MACHEREY, LAGRÉE 1993 = PIERRE MACHEREY, JACQUELINE LAGRÉE, « Condillac et Spinoza. Une lecture biaisée » dans OLIVIER BLOCH (éd.), *Spinoza au XX siècle*, Paris, PUF, 241-253.

MOREAU 2005 = PIERRE-FRANÇOIS MOREAU, « Les *Principia* de Spinoza », *Revue d'histoire des sciences*, 58:1 (2005), 63-66.

PAGANINI 1992 = GIANNI PAGANINI, « Psychologie et physiologie de l'entendement chez Condillac », *Dix-huitième siècle, Le matérialisme des Lumières*, 24, Paris, PUF (1992), 166-178.

PARENTI 1965 = ROBERTO PARENTI, «Illuminismo e tradizione in Condillac», *Aurea Parma* XLIX (1965), 5-22.

PARIENTE, PÉCHARMAN 2014 = JEAN-CLAUDE PARIENTE, MARTINE PÉCHARMAN, «Introduction», in ÉTIENNE BONNOT DE CONDILLAC, *Essai sur l'origine des connaissances humaines*, éd. par JEAN-CLAUDE PARIENTE, MARTINE PÉCHARMAN, Paris, Vrin.

PÉCHARMAN 1999 = MARTINE PÉCHARMAN, « Signification et langage dans l'*Essai* de Condillac », *Revue de métaphysique et de morale* 1 (1999), 81-103.

RIEU 1982 = ALAIN-MARC RIEU, « Le complexe Nature-Science-Langage chez Condillac », in JEAN SGARD (éd.), *Condillac et les problèmes du langage*, Genève-Paris, Slatkine, 27-46.

RISKIN 2002 = JESSICA RISKIN, *Science in the Age of Sensibility. The Sentimental Empiricists of the French Enlightenment*, Chicago, The University of Chicago

Press.

Rousseau 1986 = Nicolas Rousseau, *Connaissance et langage chez Condillac*, Genève, Droz.

Sgard 1981 = Jean Sgard (éd.), *Corpus Condillac (1714-1780)*, Genève-Paris, Centre d'Etude des Sensibilités de l'Université de Grenoble III, Slatkine.

Sgard 1982 = Jean Sgard (éd.), *Condillac et les problèmes du langage*, Genève-Paris, Slatkine.

Spinoza 1925 = Baruch Spinoza, *Opera*, Carl Gebhardt (éd.), 4 vols, Heidelberg, C. Winter.
CM = *Cogitata Metaphysica*
E = *Ethica*
KV = *Korte Verhandeling van God, de Mensch en deszelfs Welstand*
PPC = *Renati Descartes Principiorum philosophiæ*
TIE = *Tractatus de intellectus emendatione*
Ep = *Epistolæ*

Spinoza 1954 = Baruch Spinoza, *Œuvres complètes*, éd. par Roland Caillois, Madeleine Francès, Robert Misrahi, Paris, Gallimard.

Suárez 1965 = Franciscus Suárez, *Disputationes metaphysicæ*, Hildesheim, Olms (1st ed. 1597).

Vernière 1954 = Paul Vernière, *Spinoza et la pensée française avant la Revolution*, 2 vols., PUF, Paris.

Viljanen 2011 = Valtteri Viljanen, *Spinoza's Geometry of Power*, Cambridge, Cambridge University Press.

Vinciguerra 2005 = Lorenzo Vinciguerra, *Spinoza et le signe : la genèse de l'imagination*, Paris, Vrin.

ABSTRACTS

Ange Pottin, ***Mathematisme et tourbillons dans les*** **Principes de la Philosophie** ***de Descartes*****, pp. 1-16**

La théorie des tourbillons semble en contradiction avec la volonté affichée par Descartes de n'accepter en physique que des « principes aussi reçus en mathématiques ». Nous montrons que cette théorie cosmologique est au contraire (i) conforme à la norme mathématiste cartésienne – n'expliquer les phénomènes que par les propriétés que les corps ont en commun avec les objets mathématiques – et (ii) en partie impliquée par la thèse selon laquelle l'essence de la matière réside dans l'extension – le mouvement circulaire étant le seul permettant le mouvement dans un monde saturé par une étendue homogène. L'incohérence des Principes de la Philosophie à cet égard réside plutôt dans l'écart entre la prétention à avoir « prouvé par démonstration mathématique » et le fait que, pour passer du niveau des principes généraux à celui de la cosmologie, Descartes met en place une série d'hypothèses auxiliaires concernant la genèse du monde.

Jip van Besouw, ***'s Gravesande on the application of mathematics in physics and philosophy*****, pp. 17-55**

Willem Jacob 's Gravesande (1688-1742) is widely remembered as a leading advocate of Isaac Newton's (1643-1727) work. In the first half of the eighteenth century, ’s Gravesande was arguably Europe’s most important proponent of what would become known as Newtonian physics. ’s Gravesande himself minimally described this discipline, which he called «physica», as studying empirical regularities mathematically while avoiding hypotheses. Commentators have as yet not progressed much beyond this view of ’s Gravesande’s physics. Therefore, much of its precise nature, its methodology, and its relation to Newton’s actual work remains unclear. This article discusses one particular methodological element that ’s Gravesande himself often stressed in detail, namely the use of mathematics in philosophy and physics. In doing so, it takes exception to the claim that mathematics played only a minor role in ’s Gravesande’s work, a view put forward in recent historiography. Besides that, this article casts new light on the interpretation of ’s Gravesande’s philosophical notion of «mathematical reasoning», a notion that has remained somewhat obscure thus far.

Yannick Van den Abbeel, ***The tension between the mathematical and metaphysical strands of Maupertuis’ Principle of Least Action*****, pp. 56-90**

Without doubt, the principle of least action is a fundamental principle in classical mechanics. Contemporary physicists, however, consider the PLA as a purely mathematical principle – even an axiom which they cannot completely justify. Such an account stands in sharp contrast with the historical meaning of the PLA. When the principle was introduced in the 1740s, by Pierre-Louis Moreau de Maupertuis, its meaning was much more versatile. For Maupertuis the principle of least action signified that nature is thrifty or economical in all its actions, i.e., that nature avoids to do anything unnecessary. Maupertuis understood the principle in teleological terms and even considered the principle as an expression of God's wisdom. It has been correctly pointed out by historians that Maupertuis in his later years moved towards a more speculative and metaphysical approach, whereas his contemporary Euler and later Lagrange, wanted to avoid such theological and metaphysical implications and frame the PLA (in line with contemporary standards) in purely mathematical terms. Such readings, however, have had the unintended side-effect that they lose out of sight the question how the mathematical and metaphysical aspect of the principle of least action *fit together* within Maupertuis' own work. Investigating *if* and *how* the mathematical and metaphysical aspects of the PLA are compatible within Maupertuis' thought will be the main goal of this paper.

Marco Storni, *Maupertuis et le mathématisme philosophique*, pp. 91-123

L'une des plus grandes controverses philosophiques du XVIII^e siècle fut occasionnée par le concours organisé en 1746 par l'Académie des sciences de Berlin. Bien que l'objet spécifique du concours était la théorie de monades, cette question particulière renvoyait néanmoins à une opposition plus profonde et radicale entre les deux partis en lutte, les newtoniens et les wolffiens. Dans cette contribution, nous allons d'abord insister sur les raisons de l'opposition des newtoniens à la philosophie de Wolff. Dans ce contexte, une importance toute particulière sera accordée aux positions d'Euler et de Maupertuis. Nous procéderons ensuite à une confrontation entre les positions de Wolff et de Maupertuis sur la question cruciale du rapport entre méthode mathématique et philosophique. Notre analyse cherchera à montrer l'existence chez Maupertuis de la tentative d'appliquer la méthode mathématique à d'autres disciplines que les mathématiques elles-mêmes, ce qui nous permettra de nuancer quelque peu son opposition à la philosophie wolffienne. Nous clarifierons enfin les affinités et les divergences entre les démarches de Wolff et de Maupertuis, en essayant de montrer que les véritables raisons de leur opposition doivent plutôt être cherchées dans leurs épistémologies et métaphysiques respectives.

Elise Frketich, *Wolff and Kant on Reasoning from Essences*, pp. 124-151

Wolff and Kant agree that the «mathematical method» is, generally speaking, the axiomatic-deductive method of Euclid's *Elements*. Each demonstration is carried out with recourse to an individual geometric figure in order to prove a general proposition about said figure with apodictic certainty. Although this figure is an individual, say a triangle, it can be used to prove propositions which hold for all triangles: it is an individual which represents the universal. While Wolff and Kant agree that these are the steps comprising the mathematical method, they disagree on the scope of its application. Wolff thinks that a thing in nature can also be treated like a geometric figure, i.e., that one can demonstrate general and certain propositions from it. This paper will discuss the metaphysical underpinnings of Wolff's application of the mathematical method to natural philosophy. Specifically, it will take up Wolff's modal metaphysics, as it pertains essences, which, on my interpretation, explains why Wolff thinks he can treat a thing in nature as an individual which represents the universal. I will then present Kant's arguments against such a theory of essences and explain why this precludes the employment of the mathematical method in natural philosophy, for Kant.

Diego Donna, *Comment sortir du labyrinthe. Condillac critique de Spinoza. Entre* mos geometricus *et Langue des calculs*, pp. 152-180

Le présent article se propose d'étudier l'analyse de Condillac à l'*Ethique* de Spinoza, avec comme toile de fond la critique plus générale que l'abbé français fait de la logique de système propre au XVII^{e} siècle. De l'*Essai sur l'origine des connaissances humaines* au *Traité des systèmes* jusqu'aux textes postérieurs (*Grammaire*, *Logique*, *Langue des calculs*), la théorie et la critique condillacienne des systèmes sont traversées par deux composantes : d'un côté la recherche de l'origine sensible des idées, que Condillac radicalise dans son *Traité des sensations* en une théorie de la connaissance comme sensation transformée, de l'autre une logique opératoire des signes, qui de l'*Essai* jusqu'aux œuvres postérieures au *Traité des sensations* traduit la sensibilité en un savoir, ou une « langue bien faite », dont la logique est le calcul. Mon objectif est de comprendre la façon dont le nouvel « esprit systématique », invoqué à plusieurs reprises par l'abbé, s'écarte des « mauvaises métaphysiques » qu'il prétend liquider. La comparaison avec le système spinozien sera un révélateur : dans son traité sur les systèmes métaphysiques du XVII^{e} siècle Condillac propose une analyse critique de l'esprit géométrique ; dans sa dernière ouvrage, *La langue des calculs*, il proposera une nouvelle logique à laquelle il donne le soin de réunir l'abstrait et le concret, au-delà des ruines de la métaphysique classique. Esprit systématique et esprit de système se révéleront malgré ses efforts beaucoup plus proches de ce qu'il n'y paraissait à première vue.

INDICE DEI NOMI