



HAL
open science

La recherche du “ bon ” principe d’économie en physique

Véronique Le Ru

► **To cite this version:**

Véronique Le Ru. La recherche du “ bon ” principe d’économie en physique. *Etudes Epistémè : revue de littérature et de civilisation (XVIe - XVIIIe siècles)*, 2023, Pensée et représentation de l’optimum au temps des Lumières (1680-1789) (44), 10.4000/episteme.17306. 10.4000/episteme.17306 . hal-04496549

HAL Id: hal-04496549

<https://hal.univ-reims.fr/hal-04496549>

Submitted on 8 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



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

La recherche du « bon » principe d'économie en physique

The Search for the "Right" Principle of Economy in Physics

Véronique Le Ru



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/episteme/17306>

DOI : [10.4000/episteme.17306](https://doi.org/10.4000/episteme.17306)

ISSN : 1634-0450

Éditeur

Association Études Épistémè

Ce document vous est offert par Université de Reims Champagne-Ardenne



Référence électronique

Véronique Le Ru, « La recherche du « bon » principe d'économie en physique », *Études Épistémè* [En ligne], 44 | 2023, mis en ligne le 14 février 2024, consulté le 08 mars 2024. URL : <http://journals.openedition.org/episteme/17306> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/episteme.17306>

Ce document a été généré automatiquement le 22 février 2024.



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-ND 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

La recherche du « bon » principe d'économie en physique

The Search for the "Right" Principle of Economy in Physics

Véronique Le Ru

Introduction

- 1 La problématique suscitée par la recherche du « bon » principe d'économie est fondamentale d'un point de vue épistémologique. En effet, le débat qu'ouvre le problème de la réfraction à propos du chemin de la lumière (le plus court ? le plus rapide ?) est le lieu où s'affrontent plusieurs points de vue sur le rôle de la métaphysique dans la physique. A travers le problème scientifique de la recherche de la grandeur que la nature économise dans les mouvements de la lumière et de la matière, les savants de l'âge classique cherchent à unifier l'optique et la mécanique et à comprendre les liens qui unissent la métaphysique et les principes de la physique dans la construction de la physique mathématique.
- 2 À première vue, on peut séparer les savants en deux camps : dans le premier camp se rassemblent ceux qui sont persuadés, à la suite de Descartes, qu'il faut bannir de la science la recherche des causes finales « car nous ne devons pas tant présumer de nous-mêmes, que de croire que Dieu nous ait voulu faire part de ses conseils : mais, le considérant comme l'auteur de toutes choses, nous tâcherons seulement de trouver par la faculté de raisonner qu'il a mise en nous, comment celles que nous apercevons par l'entremise de nos sens ont pu être produites »¹. Descartes fixe négativement les principes méthodologiques de la science. La méthode de recherche par les causes finales est proscrite. La science, ou ce qu'il appelle la philosophie, doit s'efforcer de fournir les solutions des problèmes de la physique par la recherche et l'assignation des causes efficientes d'un effet physique, qu'il s'agisse du trajet d'un corps ou du parcours de la lumière. La méthode est directe et *a priori* et se fonde sur les lois de l'équilibre et du mouvement. Ainsi, dans les problèmes de mécanique, selon cette méthode directe, on doit déterminer le mouvement d'un système matériel par la considération des

conditions initiales du système : si l'on connaît à l'instant t_0 choisi comme instant initial les positions et les vitesses d'un système matériel et si, à chaque instant t_1, t_2, t_3, t_n , les forces qui agissent sont déterminées et connues en fonction des temps, des positions et des vitesses, alors le mouvement du système matériel est déterminé de façon unique pour tout t succédant à t_0 . Selon cette méthode, ce qui est fixé dans l'étude mécanique du mouvement, c'est le point de départ du mouvement d'un système matériel à l'instant t_0 . Ainsi, dans ce premier camp, on pourrait ranger les scientifiques qui incitent à un changement de paradigme, où il s'agit de délier science et finalité et de faire du refus des causes finales la marque de nouvel esprit scientifique.

- 3 Dans l'autre camp, se rangent ceux qui, à la suite de Fermat et de Leibniz, poursuivent la science normale qui allie causes finales et causes efficientes dans la recherche, et qui pensent que les hypothèses finalistes peuvent être heuristiques en science². Leibniz cherche en effet, comme le dit D'Alembert dans l'article CAUSES FINALES de l'*Encyclopédie*, à ressusciter les causes finales notamment dans l'ouvrage, paru dans les *Acta Eruditorum* de 1682, intitulé *Unicum opticae, catoptricae et dioptricae principium*. Comme l'indique le titre du mémoire, il s'agit de présenter le principe unique qui régit aussi bien la loi de la réfraction que les lois de la propagation simple de la lumière et de la réflexion. L'hypothèse finaliste de Leibniz est que la lumière suit le chemin le plus facile. Or, pour estimer la route la plus facile qu'il ne faut pas confondre ni avec la route la plus courte ni avec celle du moindre temps, Leibniz considère le produit du chemin parcouru par la résistance que la lumière rencontre dans son trajet. Pour trouver quelle est la trajectoire de la lumière, il suffit de calculer, par la méthode des tangentes ou *de maximis et minimis*, méthode découverte comme le signale Leibniz³ par Fermat, la valeur du minimum de ce produit du chemin par la résistance. Pour la réfraction, « les difficultés du chemin dans les milieux différents sont en raison composée et de la longueur l des chemins et de la résistance R des milieux » (nous citons la traduction française du mémoire de 1682 faite par Suzanne Bachelard⁴). La grandeur à minimiser est la somme des produits du chemin de la lumière par la résistance du milieu ($R.l$). Mais comme Leibniz pose que la vitesse de la lumière est directement proportionnelle à la résistance du milieu, soit $V = KR$, la quantité à minimiser est, à un facteur près, la somme des produits du chemin de la lumière par la vitesse de la lumière dans un milieu ($V.l$). Ce principe d'optique, on peut l'interpréter comme un principe de moindre action puisque Leibniz définit l'action par le produit du corps par l'espace et la vitesse (ce concept d'action intervient notamment dans son *Essai de dynamique* de 1692⁵). De là à dire que Leibniz a énoncé (en 1682) avant Maupertuis (en 1744) le principe de moindre action, le pas est vite franchi, et le sera notamment par Koenig, qui accusera Maupertuis d'avoir plagié Leibniz, ce qui donnera lieu à la querelle de priorité sur l'invention du principe de moindre action⁶. Quelles sont les conséquences méthodologiques de la position leibnizienne en faveur des causes finales ?
- 4 Le mathématicien qui fait sienne l'inclination leibnizienne pour les causes finales est conduit à résoudre des problèmes où, ce qui est donné, ce ne sont plus seulement, comme c'était le cas pour la méthode directe, les conditions initiales du mouvement d'un système matériel, mais un programme comportant le point d'arrivée du mouvement. Dès lors qu'on se donne le point de départ et le point d'arrivée d'une trajectoire, dès lors qu'on se donne un *programme* de mouvement, on fait intervenir le principe métaphysique d'économie de la nature, pour calculer le *minimum* de la grandeur que la nature économise. Connaissant la grandeur à minimiser ou à maximiser, on trouve la solution d'un problème par l'utilisation de la méthode *de*

maximis et minimis, qui consiste à déterminer les *maxima* ou les *minima* d'une fonction. Il faut aussi remarquer que cette méthode indirecte est tout à fait compatible avec la mathématisation de la physique et, en ce sens, la reprise par les leibniziens de la méthode de recherche par les causes finales opère une rupture avec le traditionnel raisonnement finaliste des scolastiques qui prenait corps dans une physique qualitative.

- 5 Le problème de cette méthode indirecte qui passe par la considération des causes finales du mouvement est donc de savoir quelle grandeur la nature économise. Et c'est ici, comme le souligne Euler dans ses *Recherches sur les plus grands et plus petits qui se trouvent dans les actions des forces*⁷, que la métaphysique commence : « Mais il est souvent très difficile de découvrir la formule, qui doit être un *maximum*, ou *minimum*, et par laquelle la quantité d'action est représentée. C'est une recherche qui n'appartient pas tant à la mathématique, qu'à la métaphysique puisqu'il s'agit de connaître le but, que la nature se propose dans ses opérations : et ce serait porter cette science à son plus haut degré de perfection, si l'on était en état d'assigner pour chaque effet que la nature produit, cette quantité d'action, qui y est la plus petite, et qu'on pût la déduire des premiers principes de notre connaissance ». Cette difficulté est aussi évoquée par Daniel Bernoulli dans la lettre qu'il adresse à Euler le 12 décembre 1742⁸ où il dit être convaincu que les trajectoires dues aux forces centrales avec un ou plusieurs centres relèvent d'un traitement *de maximis et minimis*, bien qu'on ne voie pas exactement quel *maximum* ou *minimum* la nature recherche. Cette idée a apparemment séduit Euler puisqu'il la reprend en lui conférant une portée encore plus générale dans l'Appendice 2 de son mémoire en latin de 1744, qui expose la méthode *de maximis et minimis* pour trouver les lignes courbes (*Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes*) : « Puisque tous les effets de la nature découlent d'une certaine loi de *maximum* ou de *minimum*, il n'y a aucun doute qu'une certaine propriété de ce type ait lieu pour les trajectoires des corps sollicités par des forces quelconques. Il n'est pas facile de déterminer *a priori* cette propriété à partir de principes métaphysiques, mais comme on peut trouver ces courbes par une méthode directe, on peut espérer *par une attention aux résultats* trouver la propriété » (nous citons ici la traduction française de R. Halleux⁹). Dans ce passage, Euler présente la méthode *de maximis et minimis* comme *a posteriori* : pour découvrir la grandeur que la nature économise, il convient d'abord de mettre en œuvre la méthode directe qui met au jour les causes efficientes des effets et surtout donne les formules mathématiques nécessaires pour résoudre tel ou tel problème. Une fois qu'on connaît la formule, on peut en déduire ce qui doit être un *maximum* ou un *minimum*, et on peut résoudre tout problème du même type par la méthode *de maximis et minimis*.
- 6 Mais alors, peut-on se demander, quel est l'intérêt de cette méthode *a posteriori* qui semble faire double emploi ? L'intérêt de poser que la structure des phénomènes est l'expression d'un principe d'économie est précisément d'ordre économique : une fois qu'on a découvert la grandeur que la nature économise et qu'on peut donc appliquer la méthode *a posteriori*, on épargne du temps et on ménage l'effort de l'esprit. En outre, les calculs opérés selon la méthode *a posteriori* gagnent en élégance, en facilité et en simplicité. C'est ce que déclare Euler à propos du principe de moindre action. Une fois qu'on sait que la grandeur à minimiser est la quantité d'action, on évite les procédés de calcul fastidieux de la méthode directe¹⁰.

- 7 Nous avons séparé, dans une première approche, les savants en deux camps : les défenseurs des causes efficientes et ceux que les encyclopédistes appellent les *causes finaliers* ; d'un côté Descartes, Newton, D'Alembert, de l'autre, Fermat, Huygens, Leibniz, Maupertuis, Euler et aussi, dans le domaine de l'histoire naturelle, Réaumur ou Malpighi par exemple. Mais il est clair que la recherche du principe d'économie de la nature en science préoccupe les deux camps. La différence qui subsiste est une différence d'approche du problème liée aux modalités de cette recherche. Les premiers l'associent à la recherche des causes efficientes, les seconds à celle des causes finales.
- 8 En effet Descartes, même s'il bannit la recherche des causes finales en science, ne bannit pas pour autant l'utilisation du principe d'économie de la nature pour asseoir sa méthode. Dans la deuxième partie du *Monde ou Traité de la lumière* intitulée « L'homme », il fait explicitement référence au principe de simplicité des voies de la nature pour légitimer l'usage universel de son modèle mécaniste pour expliquer le système nerveux (fibres et gaines nerveuses par où circulent les esprits animaux) et la structure des organes des sens de tous les êtres vivants : « Et sachant que la nature agit toujours par les moyens qui sont les plus faciles de tous et les plus simples, vous ne jugerez peut-être pas qu'il soit possible d'en trouver de plus semblables à ceux dont elle se sert, que ceux qui sont ici proposés »¹¹.
- 9 Newton semble, lui aussi, proscrire le recours à des hypothèses finalistes et aux causes finales dans sa méthode de recherche. Il déclare dans le Scholie général qui clôt le livre III des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* qu'il vaut mieux renoncer à chercher la raison des propriétés de la gravité que de recourir à des hypothèses : « Car tout ce qui ne se déduit point des phénomènes est une hypothèse : et les hypothèses, soit métaphysiques, soit physiques, soit mécaniques, soit celles des qualités occultes, ne doivent pas être reçues dans la philosophie expérimentale »¹². Cela ne l'empêche pourtant pas de faire mention des principes d'économie des causes et de simplicité de la nature dans les trois premières Règles qu'il faut suivre pour étudier la physique (*Regulae philosophandi*). La première règle est en effet communément appelée celle de l'économie des causes : « Il ne faut admettre de causes, que celles qui sont nécessaires pour expliquer les phénomènes »¹³. Suit le commentaire de Newton qui réfère explicitement ce principe méthodologique d'économie des causes à l'économie de la nature : « La nature ne fait rien en vain, et ce serait faire des choses inutiles que d'opérer par un plus grand nombre de causes ce qui peut se faire par un plus petit »¹⁴. Certes Newton n'utilisa pas le terme « économie » mais l'idée y est : il s'agit de réduire les causes au plus petit nombre¹⁵. Par ailleurs, la deuxième règle est appelée la règle de simplicité des causes : « Les effets du même genre doivent toujours être attribués, autant qu'il est possible, à la même cause »¹⁶. Enfin, la troisième règle, celle de l'induction donne lieu à un commentaire de Newton qui, de nouveau, fonde les principes méthodologiques de sa méthode, et notamment l'analogie, dans la simplicité de la nature. L'analogie scientifique est permise car les voies de la nature sont simples et analogues les unes aux autres : « On ne peut pas opposer des rêveries aux expériences, et on ne doit pas abandonner l'analogie de la nature qui est toujours simple et semblable à elle-même »¹⁷.
- 10 Enfin D'Alembert, même s'il développe, dans l'article CAUSES FINALES de l'*Encyclopédie*¹⁸, une critique des savants qui utilisent les causes finales dans leurs recherches, se sert lui aussi du principe de simplicité de la nature quand il en a besoin, en particulier pour mettre en place le cadre conceptuel de la mécanique et, plus

exactement, l'uniformité *naturelle* du temps et du mouvement. Dans la préface à son *Traité de dynamique*¹⁹, il écrit p. IX : « il sera toujours incontestable, que l'existence du mouvement étant une fois supposée sans aucune autre hypothèse particulière, la loi la plus simple qu'un mobile puisse observer dans son mouvement, est la loi d'uniformité, et c'est par conséquent celle qu'il doit suivre ». Parce qu'elle est la plus simple, la loi d'uniformité du mouvement est la loi réelle parmi toutes les lois possibles. L'épistémologie de la simplicité se réfère ainsi subrepticement au principe de simplicité de la nature. Pour D'Alembert, ce qui est simple est naturel et nécessaire, les trois adjectifs sont utilisés de manière synonyme. Il est vrai que D'Alembert réfléchit presque cent ans après Descartes et cinquante ans après Newton, il est un philosophe du XVIII^{ème} siècle, de surcroît porté par le mouvement de laïcisation de la science fortement représenté par l'Académie Royale des Sciences de Paris et notamment par Fontenelle, qui en fut le secrétaire perpétuel pendant quarante-deux ans, à partir de 1699. Rien d'étonnant alors à ce que la rupture que D'Alembert opère entre la science et la métaphysique traditionnelle soit plus franche que celle de ses prédécesseurs.

- 11 Ces trois savants, parfois en dépit d'eux-mêmes, n'ont pas développé un discours scientifique totalement indépendant du discours métaphysique. Descartes construit explicitement sa physique à partir de sa métaphysique. Dans les *Principes de la philosophie*, II, articles 36, 37 et 39, il fonde le principe de conservation de la même quantité de mouvement dans l'univers et les deux premières lois de la nature (loi de conservation de l'état de repos ou de mouvement d'un corps et loi de la priorité du mouvement rectiligne sur les autres formes de mouvement) dans la constance de Dieu en son action posée *a priori* comme attribut de sa perfection. Newton, même s'il cherche, par la méthode de l'induction à éviter l'usage des hypothèses, en introduit cependant plus d'une, notamment à la fin du Scholie général où l'hypothèse d'un esprit très subtil, émanant directement de Dieu, est avancée pour servir de support aux forces attractives et expliquer les espèces d'attractions, comme les attractions électriques ou nerveuses, à propos desquelles on n'a pas encore suffisamment d'expériences. L'ensemble des Questions qui clôt le traité d'*Optique* constituerait aussi un bon vivier d'hypothèses newtoniennes où se laisse lire sa métaphysique. Avec D'Alembert se produit une rupture plus franche entre la métaphysique et la physique, rupture opérée par une refonte du sens de la métaphysique. Ce penseur, tout au long de son œuvre scientifique, exprime l'exigence de distinguer nettement et précisément le sens mathématique d'une question de son sens métaphysique qu'il abandonne volontiers aux métaphysiciens. Il juge, en particulier, la métaphysique des causes finales vaine et stérile²⁰. Au mieux reconnaît-il au raisonnement par les causes finales une valeur complémentaire au raisonnement direct qui utilise les causes efficientes.
- 12 D'Alembert, en réalité, attribue à la métaphysique un rôle et un sens radicalement différents des perspectives antérieures : il la considère comme une sorte de système des principes méthodologiques et métaphysiques d'une science. Et c'est seulement à ce niveau méthodologique et métaphysique qu'intervient le principe d'économie de sorte que, dans son épistémologie, le principe d'économie est une économie de principes²¹. Le principe d'économie est référé à la méthodologie et à la métaphysique inhérente à la science et non plus à la nature, même si, rappelons-le, l'œuvre de D'Alembert porte encore quelques traces de l'utilisation habituelle du principe d'économie de la nature sous la forme de la simplicité des voies, quand il s'agit d'appuyer la priorité de la loi d'uniformité sur les autres lois possibles. A vrai dire, D'Alembert se sert des principes métaphysiques dans un ordre de réflexion *ad hoc*. Quand il cherche à montrer le

manque de fiabilité du calcul des probabilités lorsqu'on l'applique aux phénomènes physiques, il utilise un principe contraire au principe de simplicité, à savoir le principe de la diversité des effets²². Au nom de ce principe métaphysique, il se refuse à conférer aux applications physiques la certitude mathématique du calcul des probabilités car « il n'est pas dans la nature qu'un effet soit toujours et constamment le même, comme il n'est pas dans la nature que tous les hommes et tous les arbres se ressemblent »²³. Le principe de la diversité des effets semble être en contradiction avec le principe de simplicité des voies de la nature et, plus profondément, avec le principe de causalité, car si les causes sont identiques ou, plus exactement, agissent de manière identique, il n'y a aucune raison que l'effet ne soit pas toujours et constamment le même. Mais la seconde partie de la phrase « comme il n'est pas dans la nature que tous les hommes et tous les arbres se ressemblent » montre que D'Alembert ne rattache pas le principe de la diversité des effets au principe de causalité mais au principe leibnizien des indiscernables : tout être, tout individu est unique. L'utilisation que D'Alembert fait du principe de la diversité des effets est particulièrement ambiguë car il avait lui-même précisé dans l'article FORCE de l'*Encyclopédie* que si une même cause produisait une diversité d'effets, c'est parce qu'elle agissait de manière différente. Autrement dit, si une cause agit d'une même manière, elle produit des effets toujours identiques. On a là l'énoncé de la réciproque de la Règle II des *Regulae philosophandi* de Newton, qui permettait de conclure de l'identité des effets à l'identité des causes. Dans l'article FORCE, D'Alembert considère la réciproque de la Règle II en disant que de la diversité d'effets, on peut conclure à la diversité de manières d'agir de la cause. Si ce n'était pas le cas, si une même cause et une seule et même manière d'agir de cette cause produisaient des effets divers, cela contredirait la loi de constance et d'uniformité de la nature selon laquelle une même cause produit des effets identiques (et on aurait la plus grande difficulté à mettre au jour des lois scientifiques). La position de D'Alembert témoigne de l'usage opportuniste et non critique qu'il fait du principe de causalité et des principes métaphysiques : quand il cherche à fonder la loi d'uniformité du mouvement, il n'hésite pas à solliciter le principe de simplicité de la nature et non plus celui de la diversité des effets. Selon les questions, il fait appel à tel ou tel principe métaphysique sans se soucier de la cohérence de la métaphysique qu'il met pourtant à contribution dans son argumentation scientifique. En outre, la référence au principe des indiscernables ne se justifie pas dans le cadre conceptuel où ce principe est convoqué. S'il est légitime de l'utiliser dans le cadre d'une réflexion sur l'individualité, son usage paraît beaucoup plus problématique quand il s'agit de discuter d'un axiome comme l'effet est proportionnel à la cause ou de statuer sur le calcul des probabilités.

- 13 Les savants de l'autre camp associent la recherche du principe d'économie à celle des causes finales. Pour eux, le principe d'économie est inscrit ontologiquement dans la structure des phénomènes. En d'autres termes, le génitif du principe d'économie n'est pas la science mais la nature. Ce faisant, ils développent une vision métaphysique de la nature, et leurs travaux scientifiques s'en trouvent affectés : ils s'enracinent dans la conviction profonde que l'ordre et l'économie de la nature reflètent les desseins du Créateur. Autrement dit, ces savants œuvrent pour un mariage heureux entre la science et la théologie naturelle. Quand on pose que la nature est l'image de la perfection de Dieu, on peut aussi poser que la nature agit par économie et qu'elle exprime, à sa manière, la sagesse du Créateur. On s'autorise alors l'utilisation de la cause finale en physique dont l'expression méthodologique est la méthode *de maximis et minimis*. Ainsi Leibniz déclare dans son opuscule *De ipsa natura sive de vi insita*

actionibusque creatorum, pro Dynamicis suis confirmandis illustrandisque : « Car je pense que Dieu a été déterminé par des raisons de sagesse et d'ordre à donner à la nature les lois qu'on y remarque. Et l'on voit par là, ce que j'ai autrefois signalé à l'occasion de la loi fondamentale de l'optique²⁴ [...], à savoir que la cause finale n'est pas seulement profitable à la vertu et à la piété dans l'éthique et dans la théologie naturelle, mais encore qu'elle sert dans la physique même à découvrir des vérités cachées »²⁵. De même Euler, dans son mémoire de 1744 sur la méthode *de maximis et minimis* pour trouver les lignes courbes (*Methodis inveniendi lineas curvas maximi et minimive proprietate gaudentes*), écrit : « Comme la construction du monde est parfaite, et due à un Créateur infiniment sage, il n'arrive rien dans le monde qui ne présente quelque propriété de *maximum* ou de *minimum*. Aussi n'y a-t-il aucun doute qu'il soit possible de déterminer tous les effets de l'Univers par leurs causes finales à l'aide de la méthode des *maxima* et des *minima*, avec tout autant de succès que par leurs causes efficientes »²⁶. Enfin soulignons que Maupertuis dans son mémoire de 1746, présenté à l'Académie de Berlin, intitulé *Les lois du mouvement et du repos déduites d'un principe métaphysique*²⁷, se propose, après avoir discuté de la validité et de la valeur des preuves classiques de l'existence de Dieu, de donner sa propre preuve appuyée sur le principe de moindre action.

- 14 Maupertuis confère à son principe un statut métaphysique, ce que lui reproche D'Alembert pour qui le principe de moindre action est un principe mathématique. L'ampleur et la complexité du débat scientifique qui se noue autour de ce principe montre que le ressort de la discussion est double. D'une part, il est d'ordre métaphysique et peut se formuler en la question suivante : peut-on construire et penser la physique comme l'expression privilégiée de la théologie naturelle ? D'autre part, il est d'ordre méthodologique et conduit à la question : la méthode *a posteriori* qui s'appuie sur les causes finales est-elle légitime et utile en physique ? Aux deux questions, D'Alembert répond non.
- 15 C'est donc en interprétant le principe de moindre action comme indépendant du principe des causes finales que d'Alembert lui attribue toute sa valeur. Notons que cette interprétation ne peut pas être celle de Maupertuis. En effet, quand celui-ci définit la quantité d'action comme proportionnelle à la somme des espaces multipliés chacun par la vitesse avec laquelle le corps les parcourt, il présente certes un concept scientifique mais qui a, de manière tout aussi incontestable à ses yeux, une valeur métaphysique – et quelle valeur ! – puisqu'il présente son principe comme une preuve de l'existence de Dieu²⁸.

NOTES

1. Voir *Principes de la philosophie*, partie I, article 28, p. 37 du tome IX dans René Descartes, *Œuvres*, Adam et Tannery, 11 tomes, Paris, 1897- 1909, rééd. par les éditions du CNRS et Vrin 1964-1974, référence abrégée par la suite en AT suivi du tome en chiffres romains et de la page en chiffres arabes.

2. Voir le chapitre suivant pour Fermat, et pour Leibniz, *Discours de métaphysique*, articles 19 à 22, écrit en 1686, et dont les idées circulaient au XVIIIème siècle même si l'ouvrage n'a été édité pour la première fois qu'en 1846 à Hanovre, repris par Vrin, Paris, 1984.
3. Voir G. W. Leibniz, *Die philosophischen Schriften von G.W. Leibniz*, IV, 347, (abrégé par la suite en *Phil*), Berlin, Gerhardt, en 7 vol., 1875-1890.
4. Cette traduction a été publiée dans la revue *Thalès*, Paris, PUF, 1958. Le passage cité se trouve page 32.
5. Comme le souligne François Duchesneau dans *La dynamique de Leibniz*, Paris, Vrin, 1994, p. 252, Leibniz dans *l'Essai de dynamique* définit d'abord l'effet formel qu'exprime le produit de la masse par la longueur de l'espace de translation. François Duchesneau précise : « L'effet formel se distingue de l'effet violent pour autant qu'il exprime la force sans l'épuiser et en la conservant plutôt (en conformité avec le principe d'inertie). L'action motrice pour sa part se trouve définie par le produit de l'effet formel par la vitesse avec laquelle il est accompli. Dans l'unité de temps, il est manifeste que l'effet est comme le produit mv , et l'action motrice comme le produit mv^2 ».
6. Sur cette querelle, il existe une littérature importante parmi laquelle l'analyse de la découverte du principe et de la polémique qu'elle a suscitée a été remarquablement présentée par René Dugas dans le chapitre V (pp. 244-264) du livre III de son *Histoire de la mécanique*, Neuchâtel, éd. du Griffon, 1950. Dans Louis Couturat, *La Logique de Leibniz*, Hildesheim, Georg Olms, 1969, la note XVI (p. 577-581) est aussi fort intéressante dans les détails qu'elle donne de la querelle entre Maupertuis et Samuel Koenig.
7. Ce mémoire se trouve inséré dans les *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 4, (1748), 1750, pp. 149-188. Il est repris dans les *Commentationes mechanicae. Principia mechanica*, dans *Eulerii Opera omnia*, Berlin/Basel/Boston/Stuttgart, Lipsiae-Birkhauser Verlag, Series I, II, III, IV, 1911-....
8. *Ibid.* Series, IV A, 3, dans les *Commentationes mechanicae. Principia mechanica*, dans *Eulerii Opera omnia*, Berlin/Basel/Boston/Stuttgart, Lipsiae-Birkhauser Verlag, Series I, II, III, IV, 1911-.....
9. *Ibid.*, Series I, 24, p. 298.
10. Voir le mémoire *Sur le principe de moindre action* dans les *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 7, (1751), 1753, pp. 199-218. Ce mémoire est repris dans les *Eulerii Opera omnia, op.cit.*, Series, II, 5, pp. 179-193, le texte cité se trouve p. 192.
11. AT, *op.cit.*, XI, 201.
12. Scholie général, p. 179 du tome II des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, titre par la suite abrégé en *Principia*, trad. Madame du Châtelet en deux tomes, Paris, 1756-1759, rééd. Paris, Blanchard, 1966 ; Jacques Gabay, 1990.
13. *Principia, op.cit.*, t. II, p. 2.
14. *Ibid.*
15. Le terme économie est en train d'émerger aussi bien en économie politique qu'en économie animale. Voir l'article OECONOMIE de *l'Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, ed. D'Alembert et Diderot, Paris, Briasson, David, Le Breton et Durand, 35 vol., 1751-1780 ; rééd. Fromann, 1966-1967, ici tome XI, p. 360-366 pour la partie Oeconomie animale de Ménuret de Chambaud et p. 366-383 pour la partie Oeconomie politique de Nicolas Boulanger.
16. *Principia, op.cit.*, t. II, p. 2.
17. *Principia, op.cit.*, t. II, p. 3.
18. *Encyclopédie, op.cit.*, t. II, 1751, p. 789.
19. D'Alembert, *Traité de dynamique*, Paris, David, 1e éd. 1743, 2e éd. 1758. Cette deuxième édition sur laquelle nous travaillons a été reproduite par Jacques Gabay en 1990.
20. Dans l'article CAUSES FINALES, D'Alembert reprend les adjectifs utilisés par Bacon dans le même propos au livre III du *De la Dignité et de l'Accroissement des sciences*, trad. Sieur de Golefer, Paris, Jacques Dugast, 1632.
21. Voir, par exemple, le sous-titre du *Traité de dynamique, op.cit.*, où est clairement annoncé que l'économie des principes de la mécanique, leur réduction au plus petit nombre possible, est une

exigence du traité : *Traité de dynamique* dans lequel les lois de l'équilibre et du mouvement des corps sont réduites au plus petit nombre possible, et démontrées d'une manière nouvelle, et où l'on donne un principe général pour trouver le mouvement de plusieurs corps qui agissent les uns sur les autres d'une manière quelconque.

22. C'est aussi par l'application de ce principe qu'il démantèle, dans la préface au *Traité de dynamique*, l'axiome selon lequel l'effet est proportionnel à la cause : « Cette diversité d'effets provenant tous d'une même cause, peut servir, pour le dire en passant, à faire voir le peu de justesse et de précision de l'axiome prétendu, si souvent mis en usage, sur la proportionnalité des causes à leurs effets » (p. XXIII). Sur la critique de cet axiome, voir l'analyse développée dans le chapitre 5 de la première partie de notre ouvrage *D'Alembert philosophe*, Paris, Vrin, 1994.

23. Voir D'Alembert, *Œuvres*, Paris, Belin, 1821-1822, en 5 tomes, t. 1, p. 454.

24. Cette loi d'optique est précisément celle selon laquelle les rayons de lumière suivent toujours le chemin le plus facile, loi que Leibniz a exposée dans le mémoire *Unicum opticae, catoptricae et dioptricae principium* in *Leibnitii Opera omnia, op. cit.*, III, p. 145-151.

25. Nous citons la traduction française de Paul Schrecker de l'opuscule : *De la nature en elle-même ou de la force inhérente aux choses créées et de leurs actions, pour servir de confirmation et d'éclaircissement à la Dynamique de l'auteur* in *Opuscules philosophiques*, Paris, Vrin, 1978, p. 96.

26. Nous citons la traduction française de Robert Halleux in *Eulerii Opera omnia, op.cit.*, Series I, 24.

27. Mémoire de Maupertuis inséré in *Eulerii Opera omnia, op.cit.*, Series IVA, 6.

28. Voir la conclusion sur son principe de son *Essai de cosmologie*, in *Œuvres de Maupertuis*, éd. Walther (Dresde), 1752.

RÉSUMÉS

La problématique suscitée par la recherche du « bon » principe d'économie est fondamentale d'un point de vue épistémologique. En effet, le débat qu'ouvre le problème de la réfraction à propos du chemin de la lumière (le plus court ? le plus rapide ?) est le lieu où s'affrontent plusieurs points de vue sur le rôle de la métaphysique dans la physique. A travers le problème scientifique de la recherche de la grandeur que la nature économise dans les mouvements de la lumière et de la matière, nous montrerons que les savants de l'âge classique poursuivent un double objectif : ils cherchent d'une part à unifier l'optique et la mécanique et, d'autre part, à comprendre les liens qui unissent la métaphysique et les principes de la physique dans la construction de la physique mathématique. C'est aussi cette recherche qui permet à D'Alembert de rejeter la méthode *a posteriori* qui s'appuie sur les causes finales qu'il considère illégitime et inutile en physique.

The search for the “right” principle of economy is a central epistemological question. In fact, the debate over the path taken by refracted light (is it the shortest or the quickest?) epitomizes the controversy over the role of metaphysics in physics. When engaging in discussions regarding the principle of economy used in nature, scholars of the classical age pursued a double objective: they sought to unify optics and mechanics and they attempted to understand the relations between metaphysics and the principles of physics in the construction of the mathematical physics. It is in this context that D'Alembert decided to reject the *a posteriori* method based on final causes, which he believed should not be used in physics.

INDEX

Mots-clés : causes finales, causes efficientes, méthode de maximis et minimis, principe d'économie, action

Keywords : final causes, efficient causes, method for maxima and minima, principle of economy, action

AUTEUR

VÉRONIQUE LE RU

Véronique Le Ru est professeure des Universités en philosophie à l'Université de Reims ; elle est Directrice du département de philosophie. Elle a publié de nombreux articles sur l'*Encyclopédie* et sur l'âge classique, elle est l'autrice de plusieurs ouvrages dont l'ouvrage issu de sa thèse *D'Alembert philosophe* (Vrin, 1994), l'ouvrage issu de son habilitation à diriger des recherches *La crise de la substance et de la causalité* (CNRS éditions, 2003) et récemment *Émilie du Châtelet philosophe* (Garnier, 2019), *La poésie, dire l'individu* (Dijon, EUD, 2020), *Oser penser avec Émilie du Châtelet, D'Alembert, Poincaré... la distinction entre croire et savoir*, Paris, éditions matériologiques, 2020. Elle travaille depuis 2020 sur les milieux vivants, elle a dirigé l'ouvrage *Penser les milieux vivants en commun*, Reims, Epure, 2021 et publié en son nom propre *Pour des milieux vivants partagés*, Paris, éditions matériologiques, 2021.