Université de Montréal

Leibniz et le principe d'inertie

Par

Jacques Billette

Département de philosophie

Faculté des arts et des sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade Ph.D. Philosophie

avril 2005

B
29
U54
2006
V.004

Sommaire

Il est communément admis que le principe d'inertie a joué un rôle important dans la construction de la mécanique classique. Cette affirmation s'avère particulièrement vraie pour Descartes et Newton qui ont accordé au principe le statut de *Lex prima*. Dans cette perspective, il y a lieu de s'interroger sur la façon dont le principe a été accueilli par Leibniz, dont la méthode et les orientations dans le domaine de la philosophie de la nature diffèrent sous plusieurs aspects de celles de Descartes et de Newton. La thèse qui est défendue est que le principe d'inertie représente chez Leibniz une abstraction plutôt qu'une loi de la nature et que cette abstraction est appelée à jouer un rôle important dans la construction des principes de sa dynamique, ainsi que dans l'utilisation qu'il fait de ces principes pour décrire les phénomènes de la nature. Une lecture attentive des textes de Leibniz et en particulier de certains chapitres de la *Dynamica de potentia* permettra de défendra cette thèse.

Cette étude est composée de cinq chapitres et d'une bibliographie limitée aux ouvrages et articles cités dans la recherche. Les deux premiers chapitres sont consacrés à Descartes et à Newton. Ils portent essentiellement sur le statut et le rôle qu'ils ont accordé au principe d'inertie dans leurs textes les plus importants. La différence qu'il y a lieu de faire entre le principe d'inertie et la notion d'inertie naturelle fait l'objet du chapitre trois. Le chapitre quatre porte sur la place du principe d'inertie dans les textes de la jeunesse de Leibniz jusqu'à ceux de la période de maturité. Le choc des corps, que Leibniz présente dans la dernière section de la *Dynamica de potentia*, est l'objet d'étude du dernier chapitre de cette thèse. Le mouvement inertial, que Leibniz appelle mouvement libre par soi, y joue le rôle de substrat à partir duquel il reconstruit des phénomènes complexes du domaine de la physique concrète, comme le mouvement d'un agrégat de corps ou comme le mouvement circulaire, afin d'en donner une description à partir des principes de conservation démontrés dans les parties précédentes de la *Dynamica de potentia*.

Mots clé

Leibniz philosophie nature inertie mouvement

Abstract

It is commonly admitted that the principle of inertia has played an important role in the construction of classical mechanics. To date, much attention has been drawn to Descartes and Newton, who have afforded the principle the status of *Lex Prima*. However, Leibniz's views concerning the principle of inertia are less known and deserve attention. It is interesting to examine how the principle of inertia has been received by Leibniz, whose methods and orientations in the philosophy of nature are quite different from those of Descartes and Newton. The thesis of this essay is that the principle of inertia has in the philosophy of Leibniz the status of an abstraction rather than that of a law of nature and that it plays an important role in the construction of the concepts of his dynamics. In order to defend this point of view, some chapters of Leibniz's essay *Dynamica de potentia* will be examined closely and especially the last one dealing with the collision phenomena.

There are five chapters in the essay. The first two deal with the way Descartes and Newton have introduced the principle in their major works and the role they provided for it. The explanatory function of the principle is also examined through their respective explanation of the circular motion. The aim of the third chapter is to examine closely the difference between the principle of inertia and the concept of natural inertia often used by Leibniz. The fourth chapter deals with the way Leibniz introduced and used the principle of inertia in his physics. A particular emphasis is put on the demonstration Leibniz presents of the principle of inertia and its geometric properties. Attention is also given to the way Leibniz uses the principle of inertia as a basic element in the *a priori* construction of the principle of conservation of energy. The last chapter deals with the way Leibniz uses the inertial motion, which he calls *motus simpliciter simplex*, as a building block to reconstruct more complex motions such as the circular motion and the motion of an agregate of bodies.

Key-words

Leibniz Descartes Newton philosophy inertia motion
Nature principle *potentia* construction dynamics

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABRÉVIATIONS

A&T : *Œuvres de Descartes* publiées par Adam et Tannery

MS : Manuscrits de Newton de Cambridge University Library

LH : écrits de Leibniz de Landesbibliothek Hanover

GP : Gerhardt, Die *Philosophischen Schriften*

GM: Gerhardt, *Mathematische Schriften von Leibniz*

A: *Sämtliche Schrifen und Briefe,* hrsg. von der Akademie der Wissenschften

F. de C. : *Nouvelles lettres et opuscules inédits de Leibniz*, A. Foucher de Careil, (1857), Hildesheim, G. Olms, 1971

Les auteurs des traductions des textes de Descartes, de Newton et de Leibniz sont indiqués dans les notes en bas de page. Lorsqu'ils ne sont pas indiqués, ce sont nos traductions.

REMERCIEMENTS

Je remercie M. François Duchesneau d'avoir accepté de diriger cette thèse et de m'avoir suggéré de travailler sur Leibniz. Je tiens à lui exprimer toute ma gratitude pour les commentaires et suggestions qu'il m'a faites pendant la rédaction de cette thèse.

Mes remerciements s'adressent aussi à Mme Sylvie Levasseur pour la révision linguistique et pour les précieux conseils concernant la mise en page.

INTRODUCTION

Dans les *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaften*, publiés en 1786, Kant présente au chapitre trois ce qu'il appelle la deuxième loi de la mécanique : « *Alle Veränderung der Materie hat eine äußere Ursache.* (*Ein jeder Körper beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder Bewegung, in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit, wenn er nicht durch eine äußere Ursache genöthigt wird, diesen Zustand zu verlassen*)[1]. » Cette loi est présentée par Kant comme un théorème dont il fournit une démonstration inspirée des principes de la métaphysique générale. La formulation que donne Kant de cette loi reproduit le premier axiome des *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687) de Newton[2], mais Kant, sans faire allusion au texte de Newton, la nomme plutôt loi d'inertie (*lex inertiae*)[3], nom sous lequel elle est encore connue aujourd'hui. En proposant une preuve de cette loi, Kant lui octroie par le fait même un statut et reconnaît son importance, ainsi que le rôle qu'elle joue dans la construction de la science de la nature. Après avoir présenté cette loi et après avoir ajouté des explications concernant la démonstration qu'il en a fournie, Kant ajoute : « *Aus dem Gesetze der Trägheit* (*neben dem der Geharrlichkeit der Zubstanz*) *beruht die Möglichkeit einer*

---

[1] Immanuel Kant, *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaften*, dans *Kants Werke*, Berlin, Walter Gruyter & Co,, 1968, Band IV, p. 543. « Tout changement dans la matièere a une cause externe (chaque corps persévère dans son état de repos ou de mouvement, en conservant même direction et même vitesse, quand une cause externe ne l'oblige pas à abandonner cet état. », trad. par J. Gibelin, dans Emmanuel Kant, *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, Paris, Librairie Philosophique J. Vrin, 1990, p. 130.

[2] Newton exprime cette loi de la façon suivante : « *Every body perseveres in its state of resting or of moving uniformly in a straight line, except insofar as it is compelled by impressed forces to change that state* (*Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.*) », dans *Isaac Newton's Philosophiae naturalis principia mathematica*, 3[e] éd., éditée par A. Koyré et I. B. Cohen, avec l'aide de A. Whitman, Cambridge, Angleterre et Mass., Harvard University Press, 1972, p. 54

[3] « *Dieses mechanische Gesetz muß allein das Gesetz der Trägheit* (*lex inertiae*) *genannt werden.* », I. Kant, *op. cit.*, p. 544.

eigentlichen Naturwissenschaft ganz und gar[4]. » L'intérêt que manifeste Kant pour la loi de l'inertie pourrait à lui seul constituer un incitatif suffisant pour amorcer une réflexion philosophique à ce sujet. Mais il y a plus. En effet, il convient de souligner que cette loi constitue un des principes fondateurs de la science moderne. Chez Descartes et Newton, elle a le statut de *Lex prima*, c'est-à-dire de principe premier sur lequel s'appuient ces auteurs pour construire un système cohérent qui puisse leur permettre d'expliquer les phénomènes de la nature. Elle a de plus un rôle important dans l'argumentation utilisée pour faire prévaloir la vision copernicienne du monde. De fait, il est possible d'affirmer que le principe d'inertie constitue une idée nouvelle pour la philosophie de la nature au XVII^e^ siècle. Pour s'en convaincre il suffit d'observer brièvement comment l'émergence et l'adoption de ce principe modifient radicalement la conception du mouvement qui prévalait antérieurement.

En effet, la conception ancienne du mouvement, issue en grande partie de la physique d'Aristote, était nettement incompatible avec la nouvelle conception du mouvement qu'implique l'adhésion au principe d'inertie. Le premier élément d'incompatibilité avec la physique d'Aristote réside dans le fait que, selon le principe d'inertie, le repos et le mouvement rectiligne uniforme sont considérés comme des « états » et comme équivalents. Selon Koyré[5], l'utilisation du terme « *status* » par Descartes et Newton traduit bien cette équivalence ontologique entre le repos et le mouvement. Or, une telle conception est nettement contraire à la définition que donne Aristote du mouvement dans la *Physique* :

---

[4] *Ibid.*, p. 544. « C'est sur la loi de l'inertie (y compris celle de la persistance de la substance) que repose entièrement la possibilité d'une science proprement dite de la nature. », trad. J. Gibelin, p. 131.
[5] Alexandre Koyré, *Études newtoniennes*, Paris, Gallimard, 1968, p. 102.

« L'entéléchie de ce qui est en puissance en tant que tel[6]. » Dans la philosophie d'Aristote, le mouvement est un processus intermédiaire et transitoire qui disparaît une fois l'acte accompli, de sorte que son statut ontologique est nettement opposé à celui que le principe d'inertie lui accorde. Clavelin ajoute à ce propos : « En refusant, en toute cohérence, d'accorder au mouvement une autonomie quelconque, Aristote s'interdisait *a priori* de jamais lui reconnaître le statut d'état et par conséquent de le traiter de la même manière que le repos[7]. » Bien que cette incompatibilité entre la conception aristotélicienne du mouvement et le principe d'inertie soit la plus manifeste, d'autres arguments inspirés de la *Physique* d'Aristote peuvent être formulés contre le principe d'inertie. Deux de ces arguments apparaissent clairement dans le passage suivant de la *Physique* d'Aristote :

> Il est évident que le transport circulaire est le premier des transports. En effet tout transport, comme nous l'avons dit précédemment, est, ou circulaire, ou rectiligne, ou mixte; ceux-là sont nécessairement antérieurs à celui-ci, puisqu'il en est composé; et le circulaire est antérieur au rectiligne, car il est plus simple et plus parfait. En effet il n'y a pas de transport sur une droite infinie, car un tel infini n'existe pas; et, s'il existait, rien ne serait mû, car l'impossible ne se produit pas et parcourir l'infini est impossible[8].

Ainsi Aristote, d'une part, affirme la primauté du mouvement circulaire sur le mouvement rectiligne et, d'autre part, il s'appuie, pour justifier ce choix, sur l'argument qu'un mouvement rectiligne sur une droite infinie ne peut exister, puisque cela serait impossible (on se rappellera que l'univers aristotélicien est fini). À l'inverse, le principe d'inertie formulé au XVII[e] siècle établit la primauté du mouvement rectiligne sur le mouvement circulaire[9] et implique par le fait même que l'argument concernant l'infini n'est plus

---

[6] Aristote, *Physique,* III 201 a 10-11, texte établi et traduit par Henri Carteron dans *Aristote. Physique*, Tome I, Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1926, p. 23.
[7] Maurice Clavelin, *La philosophie naturelle de Galilée*, Paris, Armand Colin, 1968, p. 26.
[8] Aristote, *Physique,* VIII 265a 13, dans *op. cit.*, Tome II, p. 136.
[9] Allen Gabbey décrit ce changement en affirmant qu'il représente « [...] *a complete freedom from the tyranny of the circle, which still held its grip on dynamical thinking of Galileo, Beeckman and even Gassendi.* », A. Gabbey, « *Force and Inertia in the Seventeenth Century : Descartes and Newton* », dans *Descartes. Philosophy, Mathematics and Physics*, Ed. Stephen Gaukroger, Sussex, Harvester Press, 1980, p. 291.

considéré comme important ou qu'il s'est vu opposer une réponse satisfaisante, comme par exemple le fait que les philosophes du XVII^{e} siècle aient dans une grande majorité adhéré à la conception d'un univers infini. À ces trois caractéristiques importantes du principe d'inertie que sont la conception du mouvement considéré comme un état, la possibilité théorique qu'un mouvement rectiligne puisse continuer indéfiniment, la primauté du mouvement rectiligne sur le mouvement circulaire, vient s'en ajouter une quatrième : une nouvelle façon de concevoir le vide ou tout au moins des mouvements dans le vide.

En effet, si l'univers fini de la cosmologie aristotélicienne et le refus d'Aristote d'admettre un infini en acte ont constitué un obstacle important à l'émergence du principe d'inertie, les efforts d'Aristote pour prouver l'inexistence du vide ont pu aussi jouer un rôle d'obstacle majeur. L'idée d'un mouvement rectiligne uniforme qui perdure en l'absence de forces extérieures implique qu'en principe tout au moins l'air ne devrait pas être présent puisqu'il agirait comme une force extérieure de résistance au mouvement et contribuerait par le fait même à diminuer le mouvement. Or, Aristote rejette catégoriquement la possibilité du vide, puisque cela mènerait à plusieurs absurdités dont la plus importante pour notre propos est la suivante : « Si le vide existait, affirme Aristote, on ne saurait dire pourquoi un corps mû s'arrêtera quelque part; pourquoi serait-ce ici plutôt que là? De sorte que nécessairement ou il sera en repos ou nécessairement transporté à l'infini, si rien de plus fort ne l'arrête[10]. » Si on poursuit le raisonnement d'Aristote, on doit en conclure que, puisqu'un mouvement infini est impossible sur une ligne droite, le vide, qui permettrait ce mouvement, ne peut exister. Au chapitre IV de la *Physique*, Aristote présente d'autres arguments pour s'opposer à l'existence du vide. Tous ces arguments feront l'objet de discussions intenses parmi les

[10] Aristote, *Physique* IV 8 215 a 19-21 trad. dans *op. cit.*, Tome I, p. 140.

philosophes du Moyen-Âge. Ces derniers tenteront de réfuter ces arguments présentés par Aristote, à l'exception d'un seul : celui où Aristote affirme que l'existence du vide impliquerait la possibilité d'un mouvement infini[11]. Ce fait illustre encore une fois l'importance que revêt la conception de l'infini pour l'émergence du principe d'inertie. En ce qui concerne la conception du vide, il ne faudrait pas conclure que la croyance en son existence est une condition nécessaire pour poser le principe d'inertie. En effet, il est paradoxal que Descartes, que plusieurs considèrent comme le premier à avoir formulé le principe d'inertie de façon correcte, niait l'existence du vide[12]. L'explication se trouve dans le fait que Descartes imagine la possibilité d'un mouvement rectiligne uniforme dans un milieu qui n'offre pas de résistance. Ainsi, comme le résume Grant, « *Although he denies the possibility of void space, Descartes makes use of the concept as a limiting case. Bodies would move forever with a uniform motion if there were no resistant media — i.e. if there were void space. But void space is an absurdity and all bodies do cease their motions*[13]. » Si l'existence du vide a représenté un sujet de réflexion important pour Aristote, il a été aussi l'objet de discussions intenses au XVII^e^ siècle de la part de plusieurs philosophes dont Descartes et Leibniz. Retenons pour notre propos que le problème du vide constitue, du point de vue de la physique d'Aristote, un quatrième argument ou obstacle contre l'émergence du principe d'inertie qui s'ajoute aux trois premiers que sont la conception aristotélicienne du statut ontologique du mouvement, la primauté qu'Aristote accorde au

---

[11] Voir Edward Grant, « *Motion in the Void and the Principle of Inertia in the Middle ages* », *ISIS*, 1964, Vol. 55, 3, No. 181, p. 287.

[12] Koyré affirme à ce propos : « Or, à l'époque du *Monde*, Descartes n'admet plus l'existence, ni même la possibilité du vide — seul milieu où le mouvement rectiligne est possible — et pourtant, c'est au mouvement rectiligne qu'il limite désormais la loi de la conservation. Ainsi, chose curieuse, Descartes formule le principe d'inertie au moment où les fondements nouvellement acquis de sa physique en rendent la réalisation rigoureusement impossible. », dans Alexandre Koyré, *op. cit.*, p. 167.

[13] Voir ce passage de Descartes : « [...] nous sommes exempts de la peine où se trouvent les Doctes, quand ils veulent rendre raison de ce qu'une pierre continue de se mouvoir quelque temps après estre hors de la main de celuy qui l'a jettée : car on nous doit plutost demander, pourquoy elle ne continuë pas toujours de se mouvoir? Mais la raison est facile à rendre, car qui est-ce qui peut nier que l'air, dans lequel elle se remuë, ne luy fasse quelque résistance? », R. Descartes, *Œuvres*, Paris, Éditions Adam et Tannery, 1897-1913, XI, p. 41.

mouvement circulaire et sa conception de l'infini. À ces quatre arguments s'en ajoute un cinquième non moins important. En effet, le mouvement rectiligne uniforme dont il est question dans le principe d'inertie est un mouvement qui n'a pas besoin d'une cause présente et immédiate pour perdurer, ou si l'on veut, qui n'a pas besoin d'une force pour être entretenu. Dans cette perspective, un tel mouvement contredit un des axiomes utilisés par Aristote pour expliquer le mouvement local : « *Omne quod movetur ab alio movetur* ». Plusieurs commentateurs considèrent que l'abandon de cet axiome par les philosophes du XIVe siècle, qui sont à l'origine de la théorie de l'*impetus*, marque un point de rupture important entre la physique du XIVe siècle et celle d'Aristote. Un tel événement a même fait dire à Pierre Duhem qu'il y a une anticipation du principe d'inertie au XIVe siècle[14]. Quoi qu'il en soit de cette affirmation, il faut la considérer au même titre que les discussions sur l'infini, sur le vide et sur les conceptions du mouvement qui étaient proposées à cette époque. De telles discussions constituent sans doute une partie de la genèse du principe ou tout au moins des conditions qui en ont permis l'émergence. Nous nous intéresserons plutôt à la façon dont le principe a été accueilli par certains philosophes du XVIIe siècle et à la façon dont il a été intégré dans leurs écrits qui ont porté sur la philosophie de la nature. À cet égard, Galilée est probablement le premier au XVIIe siècle à exprimer l'essentiel du contenu de la loi de l'inertie et à s'y appuyer pour réfuter de façon convaincante les objections maintes fois répétées depuis Aristote et Ptolémée contre le mouvement de la terre. Cependant, bien que sa contribution à l'émergence du principe d'inertie ait été substantielle, sa conception du principe comporte encore, aux yeux de la plupart des commentateurs, des éléments de la physique d'Aristote. Par ailleurs, on doit reconnaître qu'à la suite de Galilée, plusieurs autres philosophes du XVIIe siècle ont

---

[14] Voir Pierre Duhem, *Le système du monde*, VIII, Paris, Hermann, 1956, p. 143. et *Études sur Leonard de Vinci, ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu*, II, Paris, Librairie Scientifique Hermann et Fils, 1909, p. 193.

proposé une formulation de la loi de l'inertie et ont amorcé une réflexion sur le rôle qu'elle doit jouer en philosophie de la nature. On peut citer entre autres les noms de Baliani, Gassendi, Descartes, Hobbes, Huygens, Spinoza et Newton. À ces noms bien connus, il convient d'ajouter le nom de Leibniz, même si sa conception de l'inertie semble, à première vue, faire problème.

En effet, selon certains commentateurs, parmi lesquels il convient de citer A. Koyré et I. B. Cohen[15], Leibniz ne connaissait pas la loi de l'inertie telle que l'avaient proposée Descartes et Newton; tout au contraire, soutiennent ces deux historiens des sciences, Leibniz se serait limité à utiliser la notion keplérienne de l'inertie, suivant laquelle les corps ont une tendance naturelle au repos et offrent une résistance au mouvement. Des études plus récentes[16], appuyées par une lecture plus solide des textes de Leibniz, ont démontré qu'une telle opinion ne saurait être soutenue plus longtemps. Au-delà du caractère anecdotique de l'événement, la question revêt une certaine importance. On connaît l'opposition entre Newton, pour qui la loi de l'inertie constitue le premier axiome de sa philosophie de la nature, et Leibniz. En effet, que ce soit sur la conception de l'espace, sur l'existence des atomes, sur l'existence du vide, sur l'existence de la force gravitationnelle, considérée par Leibniz comme une force occulte, sur le rôle de Dieu dans chacun de leurs systèmes respectifs, sur la revendication de chacun des deux à la primauté de l'invention du calcul différentiel et intégral, les deux philosophes ont des opinions diamétralement opposées sur plusieurs sujets. À cela s'ajoute le fait que la méthodologie de chacun est nettement

---

[15] Voir Alexandre Koyré, *op. cit.*, p. 102 et n. 61 p. 143. et I. B. Cohen., « Newton and Keplerian Inertia : an Echo of Newton's Controversy with Leibniz », dans *Science, Medicine and Society in the Renaissance*, New York, ed. A. Debus, 1972.
[16] Voir H.R. Bernstein, « *Passivity and Inertia in Leibniz's Dynamics* », *Studia Leibnitiana*, Band XIII/1 (1981) et E. Vailati, *Leibniz and Clarke. A Study of their Correspondence*, Oxford, Oxford University Press, 1997, p. 181.

différente de celle de l'autre. L'histoire des sciences nous enseigne qu'une attention plus grande a été accordée à Newton qu'à Leibniz. Cependant, les études récentes[17] de Duchesneau consacrées à la méthode de la science chez Leibniz et à la dynamique de Leibniz montrent l'intérêt d'entreprendre une réflexion philosophique sur un modèle de la science qui se présente comme une alternative au modèle de Newton[18].

Dans cette perspective, nous pensons qu'une étude sur la loi de l'inertie dans les écrits de Leibniz permettrait d'approfondir notre connaissance de certains aspects de la méthode leibnizienne de la science. Quel est le statut de la loi de l'inertie dans sa dynamique? Comment et à partir de quels principes architectoniques tente-t-il de déduire cette loi? Quel rôle joue-t-elle dans sa physique? Quelle utilisation en a-t-il fait? Quel type de relation est-il permis d'établir entre cette loi et les modèles mathématiques privilégiés par Leibniz? Comment concilier, dans sa dynamique, la présence de cette loi, qui implique l'idée d'un espace absolu, avec sa conception relativiste des mouvements? Voilà autant de questions auxquelles nous tenterons de répondre et qui nous amèneront à cerner de plus près l'objet de la physique de Leibniz.

Dans cette perspective, il ne fait aucun doute que le projet de construire *a priori* une science de la dynamique constitue un élément important de la réflexion de Leibniz dans sa période de la maturité. Ce projet, qui s'est traduit par la production de la *Dynamica de potentia,* intègre les grandes intuitions que Leibniz a eues, dès ses années de jeunesse, sur la

---

[17] François Duchesneau, *Leibniz et la méthode de la science*, Paris, Presses Universitaires de France, 1993 et du même auteur, *La dynamique de Leibniz*, Paris, Vrin, 1994.

[18] Le passage suivant de Duchesneau éclaire le sens d'une telle réflexion : « Nos préoccupations épistémologiques contemporaines face à des savoirs scientifiques qui renoncent de plus en plus au modèle newtonien nous incitent à considérer avec intérêt la source d'un mode d'analyse et d'explication des phénomènes qui pourrait à la limite se décrire suivant la formule *Hypotheses fingo.* », dans François Duchesneau [1993] p. 11.

nature et la place du mouvement dans les phénomènes de la nature, ainsi que les éléments qu'il a développés dans les années ultérieures à la suite d'une réflexion sur la nature des liens entre la physique et la métaphysique. Nous défendrons la thèse que le principe d'inertie joue un rôle important dans ce projet de Leibniz de construire une dynamique *a priori* et qu'il éclaire la nature même de ce projet. Pour bien mesurer l'originalité de l'apport de Leibniz à la construction de la mécanique au XVII^{e} siècle, nous esquisserons dans les deux premiers chapitres la façon dont Descartes et Newton ont introduit ce principe d'inertie dans leur œuvre et nous observerons le statut ou le sens qu'ils lui ont donné en relation avec la conception du mouvement qu'ils ont développée. Il sera ainsi plus facile de faire la comparaison entre Leibniz et ces derniers et de pouvoir mesurer la distance qui les sépare. Dans un troisième chapitre, nous considérerons les critiques de certains commentateurs qui ont prétendu que Leibniz n'avait pas une bonne connaissance du principe d'inertie et nous tenterons de montrer que ces critiques résultent d'une mauvaise interprétation des termes utilisés par Leibniz. Dans cette perspective, il nous semble important de faire la distinction entre le principe d'inertie, que Leibniz appelle le mouvement libre par soi et la notion d'inertie naturelle, inspirée de Kepler, que Leibniz utilise pour expliquer le fait qu'un corps lourd mis en mouvement par une force donnée se déplacera avec une vitesse plus faible qu'un corps léger soumis à la même force. Au chapitre quatre, nous étudierons la place qu'occupe le principe d'inertie dans les premiers écrits de Leibniz et dans les textes de la période de transition. Parallèlement à ce thème, nous tiendrons compte des nouvelles orientations prises par Leibniz à la suite de la découverte qu'il a faite du principe de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier. Par la suite, nous étudierons la démonstration que Leibniz propose du principe d'inertie dans la *Dynamica de potentia* et le rôle qu'il lui fait jouer dans la construction des concepts utilisés pour mesurer la force des corps en mouvement. Nous terminerons notre étude en considérant attentivement la dernière section de la *Dynamica de potentia*, dans laquelle Leibniz utilise les concepts développés dans les parties précédentes et présente une synthèse de tous les aspects qui couvrent ce problème, qui peut être qualifié de problème fondamental de toute la philosophie mécaniste. Par la même occasion, il sera possible d'observer comment la conception qu'avait Leibniz du principe d'inertie et celle qu'il avait de la nature du mouvement sont conciliables.

Chapitre premier. — Descartes et les deux premières lois de la nature

La contribution de Descartes à l'édification de la science moderne est fondamentale. Dans le domaine de la philosophie de la nature, il ne fait aucun doute qu'il est à la fois une référence et une source d'inspiration pour les philosophes du XVII^{e} siècle. Newton et Leibniz ont lu avec attention certains de ses écrits et ont commenté avec beaucoup de pertinence certaines de ses positions sur la nature du mouvement, sur ses deux premières lois de la nature ou sur les règles du choc qu'il a proposées. En ce qui concerne le principe d'inertie, on peut considérer la formulation qu'il en donne comme l'émergence officielle de ce principe dans la science du XVII^{e} siècle dans la mesure où Descartes lui donne un statut, où il en présente une justification et dans la mesure où il lui donne un rôle dans la description et dans l'explication des phénomènes de la nature. Afin de bien saisir la portée de cette nouvelle idée dans la science du XVII^{e} siècle et de mieux comprendre l'influence qu'elle aura chez les philosophes qui suivront Descartes, nous nous intéresserons d'abord à la nouvelle définition du mouvement que propose Descartes dans ses *Principes de la philosophie*. Nous considérerons par la suite la présentation qu'il fait de ses deux premières lois de la nature, qui sont l'expression de ce qu'on appellera plus tard le principe d'inertie, et en particulier, nous nous intéresserons à la justification de nature métaphysique qu'il en donne. Nous aborderons en dernier lieu le rôle qu'il lui assigne dans l'explication de certains mouvements, comme le mouvement circulaire.

1. La définition du mouvement dans les *Principes de la philosophie*

Dans les *Règles pour la direction de l'esprit* et dans *Le Monde*, Descartes amorce déjà sa réflexion sur la nature du mouvement. Il y exprime son rejet de la définition aristotélicienne et affirme ne s'intéresser qu'au mouvement local, c'est-à-dire au déplacement d'un corps d'un lieu à un autre. Cependant, c'est dans les *Principes de la philosophie* que cette réflexion sur la nature du mouvement prend une forme achevée. Dans la seconde partie des *Principes de la philosophie*, qui a comme titre « Des principes des choses matérielles », Descartes consacre plusieurs articles au thème du mouvement. Nous nous limiterons à citer les deux plus importants. Ainsi à l'article 24. *Ce que c'est que le mouvement pris selon l'usage commun*, Descartes affirme que « le mouvement selon qu'on le prend d'ordinaire n'est autre chose que l'action par laquelle un corps passe d'un lieu en un autre[19]». À cette définition, qui reprend pour l'essentiel les propos qu'il avait tenus dans *Le Monde*, Descartes en ajoute une autre qui témoigne de sa réflexion sur la conception du mouvement et qui ouvre une avenue nouvelle pour la physique du XVII^{e} siècle. C'est à l'article 25, intitulé *Ce que c'est que le mouvement proprement dit.*, qu'apparaît sa définition formelle du mouvement :

> Mais si, au lieu de nous arrêter à ce qui n'a point d'autre fondement que l'usage ordinaire, nous désirons savoir ce que c'est que le mouvement selon la vérité, nous dirons, afin de lui attribuer une nature qui soit déterminée, qu'il est le transport d'une partie de la matière, ou d'un corps, du voisinage de ceux qui le touchent immédiatement, et que nous considérons comme en repos, dans le voisinage de quelques autres[20].

La portée de ces deux articles des *Principes de la philosophie* ne saurait être sous-estimée, et cela, pour trois raisons. D'abord, ces deux articles, et en particulier le deuxième, marquent une rupture complète avec la physique aristotélicienne, en second lieu, ils

---

[19] A&T, IX-2, p. 75.
[20] *Ibid.*, p. 76.

permettent à Descartes de formuler le problème de la relativité du mouvement et de tenter de le résoudre, en troisième lieu, ces articles préparent le terrain à la formulation que fera Descartes des lois de la nature. Nous illustrerons d'abord la rupture que marque la conception cartésienne du mouvement par rapport à la conception ancienne en soulignant deux points qui ressortent des articles 24 et 25 de la deuxième partie des *Principes de la philosophie* : l'abandon de la notion de moteur dans l'explication du mouvement et le nouveau statut accordé au repos. Par la suite, nous considérerons le problème de la relativité du mouvement qui ressort de la définition qu'en propose Descartes, puisque ce problème est au cœur des conceptions de la nature du mouvement qui se développeront à partir de Descartes et qu'il fera l'objet d'opinions diamétralement opposées de la part de Newton et de Leibniz.

1.1. La nouvelle conception du mouvement proposée par Descartes

La physique aristotélicienne associait étroitement la présence d'une cause à l'existence de tout mouvement, selon le principe « *Omne quod movetur ab alio movetur* ». Or, l'utilisation du mot « *actio* » dans la définition du sens commun ne permet pas, selon Descartes, de distinguer clairement l'effet qu'est le mouvement, de la cause qui le produit, c'est-à-dire le moteur. Dans la définition formelle, Descartes utilise le mot « *translatio* » plutôt que le mot « *actio* » et il ajoute pour expliquer ce choix : « Et je dis qu'il [le mouvement] est le transport et non pas la force ou l'action qui transporte, afin de montrer que le mouvement est toujours dans le mobile, et non pas en celui qui meut ; car il me semble qu'on n'a pas coutume de distinguer ces deux choses assez soigneusement.[21] » Ainsi Descartes tente

[21] *Ibid.*, p. 76.

d'établir une distinction nette entre le mouvement et la cause qui le produit. Commentant ce dernier passage de Descartes, Gueroult affirme :

> Descartes nous convie expressément à « distinguer soigneusement » entre les *modes* de l'étendue et les *forces* qui, décidant de l'apparition ou de la disparition de ces modes comme des choses existantes, expriment directement la volonté créatrice divine [...] On voit par là l'importance capitale de la distinction que Descartes établit expressément entre les *forces* et les *modes*. Le mouvement et le repos géométriquement définis sont des modes de l'étendue. La force de repos et la force de mouvement, en tant que forces, ne sont pas des modes, mais la puissance qui fait exister la chose avec tel mode[22].

L'interprétation de Guéroult est claire. Il ne s'agit pas de faire disparaître la force, mais de lui donner une signification et un rôle différents de ceux qu'elle avait dans la physique ancienne. Ainsi Guéroult considère que Descartes maintient le rôle de la force comme cause première, sur le plan métaphysique, alors qu'il lui donne un rôle de cause seconde incarnée à travers les lois de la nature et le principe de conservation du mouvement. Ce rôle de la force sera précisé dans la section consacrée à l'origine des lois de la nature.

Le deuxième élément important par lequel Descartes se démarque de la physique ancienne est sans contredit le statut nouveau qu'il accorde au repos. Dans la *Physique*, Aristote présente le repos comme le contraire du mouvement, comme une privation affectant ce qui peut recevoir le mouvement[23]. Cette conception aristotélicienne du repos a constitué par la suite un élément important de la philosophie de la nature chez les scolastiques. Or, c'est précisément à cette conception que Descartes s'oppose lorsqu'il écrit :

> Outre cela, ils [les Philosophes] attribuent au moindre de ces mouvements un être beaucoup plus solide et plus véritable qu'ils ne le font au repos, lequel ils disent n'être que la privation. Et moi, je conçois que le repos est aussi bien une qualité qui

---

[22] Martial Gueroult, « La métaphysique de la force chez Descartes et Malebranche », *Revue de métaphysique et de morale,* 59 ; 1 et 2, 1954, p. 2.
[23] Aristote, *Physique*, V, 226a-b, 229b 25, 264a 27

> doit être attribuée à la matière pendant qu'elle demeure en place, comme le mouvement en est une qui lui est attribuée, pendant qu'elle en change[24].

L'importance que Descartes veut accorder au repos constitue sans doute une des raisons pour lesquelles il préfère utiliser le terme « transport » plutôt que le terme « action » pour décrire le mouvement. En effet, si on considère le mouvement comme une action, comme le laisse entendre la définition du sens commun, alors on est immédiatement amené à penser que le repos est un manque d'action, comme semble le suggérer Descartes lui-même à l'article 24, partie II des *Principes de la philosophie* : « Toutefois, à cause que nous sommes accoutumés de penser qu'il n'y a point de mouvement sans action, nous dirons que celui qui est ainsi assis, est en repos, puisqu'il ne sent point d'action en soi, et que cela est en usage.[25] » Or, à l'article 26, Descartes s'empresse de corriger cette conception, en la qualifiant à toute fin pratique d'erreur de jeunesse : « Et d'autant que nous nous trompons ordinairement, en ce que nous pensons qu'il faut plus d'action pour le mouvement que pour le repos, nous remarquerons ici que nous sommes tombés en cette erreur dès le commencement de notre vie [...][26] » Ainsi, en accordant au repos un statut ontologique qu'il n'avait pas auparavant, en lui associant une force de repos tout aussi nécessaire que la force de mouvement pour le mouvement, Descartes attribue au repos une réalité aussi positive qu'au mouvement et leur donne en quelque sorte un statut d'équivalence. Cependant, il importe de préciser que ce statut d'équivalence ne doit pas être interprété comme un statut d'identité entre le mouvement et le repos. Bien au contraire, Descartes a besoin pour sa physique d'assigner les mouvements et, par conséquent, il a cherché à soustraire sa physique de la relativité du mouvement qu'implique la définition du mouvement selon l'usage commun. Dans cette perspective, il nous semble important de scruter plus à fond la

---

[24] A&T, XI, p. 40.
[25] A&T, IX-2, p. 76.
[26] *Ibid.*, p. 77.

façon dont Descartes à tenté de résoudre ce problème. Dans la mesure où la tentative de Descartes a suscité beaucoup de commentaires de la part des philosophes du XVII^{e} siècle et de ceux des autres époques, y compris la nôtre, il nous semble opportun de résumer cette tentative et de prendre note des points de convergence dans l'accueil qu'elle a reçu par la suite.

1.2. La relativité du mouvement chez Descartes

Nous ferons d'abord l'exposition de la problématique de la relativité du mouvement telle que la voit Descartes lui-même. Nous considérerons par la suite la façon dont Descartes a tenté de sortir de cette problématique par sa nouvelle définition du mouvement. Nous terminerons en faisant état des principales critiques dont elle a été l'objet. Ainsi, à l'article 13, intitulé *Ce que c'est que le lieu extérieur.,* Descartes explique comment, pour situer un corps en quelque lieu, il faut « en remarquer quelques autres que nous considérons comme immobiles ; mais, selon que ceux que nous considérons ainsi sont divers, nous pouvons dire qu'une même chose en même temps change de lieu et n'en change point[27] ». En d'autres mots, en se plaçant d'un point de vue purement géométrique, il est possible de choisir n'importe quel système de référence, que nous considérerons comme immobile, et d'assigner des mouvements aux autres corps qui semblent se déplacer par rapport au premier. Mais, comme ce choix d'un système de référence est purement arbitraire, on ne peut parler dans ces circonstances du mouvement absolu d'un corps, mais seulement du mouvement relatif d'un corps par rapport à un autre corps considéré comme immobile. Faisant écho à ses commentaires de l'article 13, Descartes, lorsqu'il présente à l'article 24 la définition du mouvement selon l'usage commun, résume la même problématique en ces

[27] *Ibid.*, p. 70.

termes : « Et tout ainsi que nous avons remarqué ci-dessus, qu'une même chose en même temps change de lieu et n'en change point, de même nous pouvons dire qu'en même temps elle se meut et ne se meut point[28]. » Aucun lieu ne pouvant être tenu pour immobile de façon absolue, rien ne permet de distinguer le mouvement absolu du repos. Dans ce contexte, la définition du mouvement selon le sens commun ne peut être utilisée pour construire une physique qui prétend à la certitude. Alquié ajoute qu'« une telle définition du mouvement nous laisse dans le domaine des croyances (le marin *croit* se mouvoir ou *ne croit pas* se mouvoir)[29] ». Or, c'est à cette définition selon le sens commun et aux conséquences qu'elle entraîne que semble s'opposer Descartes dès le début de l'article 25 lorsqu'il considère « le mouvement selon la vérité » auquel il veut « attribuer une nature qui soit déterminée ». Essayons de mettre en relief les éléments les plus importants de cette nouvelle définition afin de voir dans quelle mesure elle représente un progrès par rapport à la précédente.

Dans cette perspective, il convient de présenter côte à côte les deux définitions afin de mieux percevoir les différences.

I *Le mouvement selon l'usage commun.*

« le mouvement n'est autre chose que l'action par laquelle un corps passe d'un lieu en un autre. »

II *Le mouvement selon la vérité.*

---

[28] *Ibid.*, p. 75-76. À la suite de cette affirmation, Descartes ajoute un exemple pour bien illustrer son propos : « Car celui, par exemple, qui est assis à la poupe d'un vaisseau que le vent fait aller, croit se mouvoir, quand il ne prend garde qu'au rivage duquel il est parti et le considère comme immobile, et ne croit pas se mouvoir, quand il ne prend garde qu'au vaisseau sur lequel il est, parce qu'il ne change point de situation au regard de ses parties. », *Ibid.*, p. 76. L'auteur reprend ainsi le même exemple qu'il avait donné à l'article 13, en le rendant plus explicite.

[29] Dans Descartes, *Œuvres philosophiques*, T. III, textes établis, présentés et annotés par Ferdinand Alquié, Paris, Garnier Frères, 1963, p. 169 n1

> « Le mouvement est le transport d'une partie de la matière, ou d'un corps, du voisinage de ceux qui le touchent immédiatement, et que nous considérons comme en repos, dans le voisinage de quelques autres. Par un corps, ou bien par une partie de la matière, j'entends tout ce qui est transporté ensemble [...] »

Nous avons déjà commenté un premier changement important, soit la substitution du mot « action » par le mot « transport ». Considérons l'autre changement notable. Descartes ne parle plus de lieu dans lequel est déplacé un corps, mais plutôt de son déplacement par rapport à des corps contigus, considérés comme au repos. La raison de ce changement est donnée par Descartes à l'article 28 : « J'ai aussi ajouté que le transport du corps se fait du voisinage de ceux qu'il touche, dans le voisinage de quelques autres, et non pas d'un lieu en un autre, parce que le lieu peut être pris en plusieurs façons, qui dépendent de notre pensée, comme il a été remarqué ci-dessus[30]. » Manifestement, le philosophe cherche par ce moyen à éliminer tout critère subjectif ou psychologique dans l'assignation des mouvements. Écoutons à ce propos le commentaire de Guéroult : « Assigner à un corps le mouvement parce qu'on *suppose* en repos les corps contigus, ce n'est exactement rien d'autre que le *supposer* lui-même en mouvement. Le gain par rapport à la définition commune paraît à cet égard nul[31]. » Pour apprécier pleinement la démarche de Descartes, il faut cependant approfondir l'analyse. Selon Guéroult, il est nécessaire de considérer deux conséquences que semble tirer Descartes de sa définition et qui pourraient lui permettre, si elles étaient utilisées comme critères supplémentaires, d'établir une assignation certaine au mouvement et au repos. Le premier de ces critères est celui de mouvement unique dont parle Descartes à l'article 31. Prenant l'exemple du mouvement des roues d'une montre, portée par un marinier qui se promène sur son bateau en pleine mer, Descartes admet que les roues de la montre du marinier participent de plusieurs mouvements, à savoir celui du marinier, celui

[30] A&T, IX-2, p. 78.
[31] M Gueroult, *loc. cit.*, p. 16.

du bateau ou même celui de la terre qui tourne sur son axe. Par ailleurs, Descartes soutient que les roues de la montre ont un mouvement unique qui leur est propre, c'est-à-dire celui par rapport au voisinage immédiat considéré comme en repos et dont nous pouvons avoir une connaissance certaine.

Le deuxième critère est celui du transport entier. En effet, à l'article 30, Descartes rappelle qu'« un corps ne se meut point, s'il ne se meut tout entier[32] ». En d'autres mots, comme le souligne Guéroult, « si le déplacement apparent d'un corps à l'égard du voisinage n'a lieu que par une petite partie de lui-même, tandis que le corps contigu par rapport auquel il est dit se mouvoir est modifié quant à ses positions dans la totalité de sa superficie, c'est ce dernier corps qui se meut effectivement et non l'autre[33] ». Ce critère découle directement de la définition du mouvement selon la vérité que donne Descartes à l'article 25, puisque à la suite de cette définition, il affirme : « Par un corps, ou bien par une partie de la matière, j'entends tout ce qui est transporté ensemble [...][34] » Or, le problème résulte du fait que ces deux critères renferment une forme de circularité. En effet, d'une part, Descartes fait les suppositions qu'un corps est « tout ce qui est transporté ensemble » et qui ne peut être animé que d'un mouvement unique et, d'autre part, il réutilise les mêmes suppositions comme critères pour assigner un mouvement à un corps. Il faut reconnaître, à la lumière de cette interprétation, que la nouvelle définition du mouvement que propose Descartes ne semble pas supprimer la nature relative du mouvement et la réversibilité de l'hypothèse qui permet d'attribuer le mouvement à un corps plutôt qu'au voisinage immédiat par rapport auquel il semble se déplacer. Par ailleurs, il est manifeste qu'il existe dans la position de

---

[32] A&T, IX-2, p. 79.
[33] M Gueroult, *loc. cit.*, p. 17.
[34] A&T, IX-2, p. 76.

Descartes une certaine ambiguïté qui laisse place à plusieurs interprétations. En effet, Descartes, après avoir donné sa définition du mouvement selon la vérité, affirme à l'article 29 :

> Enfin, j'ai dit que le transport ne se fait pas du voisinage de toutes sortes de corps, mais seulement de ceux que nous considérons comme au repos. Car, il est réciproque; et nous ne saurions concevoir que le corps AB soit transporté du voisinage du corps CD, que nous ne sachions aussi que le corps CD est transporté du voisinage du corps AB [...] nous ne ferons point de difficulté de dire qu'il y a tout autant de mouvement en l'un comme en l'autre[35].

De la même façon, il ajoute à l'article suivant : « [...] nous nous souviendrons que tout ce qu'il y a de réel dans les corps qui se meuvent, en vertu de quoi nous disons qu'ils se meuvent, se trouve pareillement en ceux qui les touchent, quoique nous les considérions comme au repos[36] ». S'inspirant entre autres de ces passages, la plupart des commentateurs ont soutenu que Descartes avait une conception purement relativiste du mouvement[37]. (Alquié, *OP* T. III, p. 173n.1 ; Mouy, (1934), 9. 19 ; Dugas (1958), p. 178-179 ; Westfall (1971), p. 57-58 ; Shea (1991), p. 322-323 ; Earman (1989), p. 41 ; Barbour (1989), p. 449-450 ; Koyré (1966), p. 329 ; Blackwell, p. 226[38]) Il va de soi qu'une telle interprétation, si

---

[35] *Ibid.*, p. 78.

[36] *Ibid.*, p. 79.

[37] Deux points de vue différents de ceux des commentateurs énumérés plus-haut ont été exprimés récemment et méritent d'être mentionnés. Se basant sur la définition du mouvement selon la vérité que donne Descartes à l'article 25, Daniel Garber, dans *Descartes' Metaphysical Physics*, Chicago, The University of Chicago Press, 1992, p. 156-172 et Dennis Des Chene, dans *Physiologia : natural philosophy in late Aristotelian and Cartesian thought*, Ithaca, Cornell University Press, 1996, p. 257-272, soutiennent que cette définition doit être interprétée dans son contexte historique, plutôt qu'à la lumière des théories contemporaines sur le mouvement. Chacun des auteurs, en faisant une analyse purement cinématique de la description cartésienne du mouvement, propose une interprétation qui vise à redonner une forme d'objectivité à la notion de mouvement que propose Descartes dans sa définition. Par la même occasion, les deux auteurs considèrent qu'il est faux de prétendre que Descartes ait adhéré à une conception « relationnelle » du mouvement, suivant laquelle tout mouvement ne serait que le mouvement des corps les uns par rapport aux autres, ce qui impliquerait l'idée que l'espacetemps n'aurait pas les propriétés qui permettent l'existence de quantités de mouvement « absolues ». Pour une critique intéressante et pertinente des points de vue de Garber et Des Chene, voir l'article de Edward Slowik, « Descartes, Spacetime and Natural Motion », *Philosophy of Science,* 66 (Mars 1999), p. 117-139. Slowik conclut qu'en dépit des meilleurs efforts de Garber et de Des Chene, dans le but de donner une coloration non relativiste aux propos de Descartes sur le mouvement, leur interprétation de la théorie cartésienne du mouvement reste incompatible avec les lois de la nature proposées par Descartes.

[38] Koyré et Blackwell, de leur côté, tout en admettant que les propos de Descartes sur le mouvement peuvent être interprétés dans le sens d'une conception relativiste du mouvement, doutent de l'authenticité des

elle s'avérait conforme à la pensée de Descartes, serait problématique dans le contexte plus global de la physique de Descartes. En premier lieu, elle semble aller à l'encontre des reproches que Descartes a lui-même exprimés à l'égard d'une conception purement relativiste du mouvement. En second lieu, une telle interprétation semble incompatible avec la deuxième loi de la nature que propose Descartes : « Que tout corps qui se meut, tend à continuer son mouvement en ligne droite[39]. » Cette loi, de façon implicite, rend nécessaire l'adoption d'un système de référence qui permet d'observer le mouvement rectiligne de l'objet. Si le mouvement est purement relatif, plusieurs observateurs feront des évaluations différentes de la trajectoire de l'objet. Dans ces circonstances, il est difficile de parler de la trajectoire actuelle de l'objet. En troisième lieu, on doit admettre que certaines des règles de collision que propose Descartes vont à l'encontre d'une conception purement relativiste du mouvement. Voilà en résumé les points de convergence qu'il est possible d'observer dans la critique de la théorie cartésienne du mouvement parmi les commentateurs de l'époque actuelle. Par ailleurs, il est importe de mentionner que Newton et Leibniz se sont montrés très critiques à l'égard de la théorie cartésienne du mouvement. Nous considérerons plus loin les commentaires qu'ils ont émis à ce propos. Cependant, on peut conclure qu'en dépit du fait que la position de Descartes a été rejetée de façon presque unanime par les philosophes de son époque et par ceux des époques ultérieures, elle demeure le point de départ d'une réflexion féconde sur la nature du mouvement, et, à ce titre, elle mérite d'être

---

convictions relativistes de Descartes. Ils considèrent que ce dernier a fait preuve de prudence face à l'attitude anticopernicienne de l'Église.
voir Alexandre Koyré, *op. cit.*, p. 105 et *Études galiléennes*, Tome III, Paris, Hermann, 1966, p. 329 où il écrit : « L'ultra-relativisme de sa notion du mouvement n'est pas originel chez Descartes. Il ne l'adopte croyons-nous, que pour pouvoir concilier l'astronomie copernicienne, ou plus simplement, la mobilité de la terre, visiblement impliquée par sa physique, avec la doctrine officielle de l'Eglise. »
voir Richard J. Blackwell, « Descartes' Laws of Motion », *Isis* 57, p. 226 : « *If we are to give Descartes all benefit of the doubt here, we must conclude that the relativity of motion does not play a systematic role in Cartesian physics. Rather, his appeal to the relativity of motion seems to have a polemical purpose enabling him to reconcile his heliocentric theory of astronomy with the prevailing attacks against Copernicianism.* »
[39] A&T, IX-2, p. 85.

considérée attentivement[40]. D'une part, il faut admirer l'effort d'innovation que fait Descartes pour se démarquer non seulement de la physique ancienne, mais aussi de la physique de l'usage commun à laquelle il fait allusion dans les *Principes de la philosophie*. D'autre part, il faut prendre note des problèmes que soulève sa position en ce qui concerne le caractère relatif ou absolu du mouvement. Pour l'immédiat, la conception cartésienne du mouvement constitue un préambule nécessaire pour bien comprendre son projet d'une physique nouvelle et pour bien comprendre la place qu'y occupent les lois de la nature.

2. Les deux premières lois de la nature, selon Descartes

Avant d'examiner la signification des lois de la nature, ainsi que l'usage que Descartes en fait dans sa physique, il est nécessaire de jeter un coup d'œil sur les considérations métaphysiques qui amènent Descartes à les introduire au début de sa physique. À partir de quel principe supérieur, ces lois tirent-elles leur origine et leur statut de lois universelles? Comment justifier ou expliquer la forme précise qu'elles prennent dans les textes de Descartes? La réponse à ces questions se trouve en grande partie dans ce qu'on a plus tard appelé le principe de la conservation de la quantité de mouvement et dont on trouve l'origine dans les textes de Descartes. Ce principe a fait l'objet de beaucoup de commentaires de la part des historiens et des philosophes des sciences. Nous nous limiterons à considérer brièvement son émergence et le rôle que Descartes lui fait jouer dans sa philosophie de la nature, ainsi que la justification métaphysique sur laquelle ce principe s'appuie. Il est manifeste que ce principe constitue un intermédiaire entre Dieu,

---

[40] Voir Julian B. Barbour, *Absolute or Relative Motion ?* Volume 1 *The Discovery or Dynamics* (1989), Cambridge, Cambridge University Press, 1989, p. 443 : « *The credit of having started the first real debate about the ultimate nature of motion cannot be denied Descartes.* »
voir aussi les propos de Slowik, *loc. cit.*, p. 138 qui vont dans le même sens : « [...] *nearly every modern hypothesis of space and time, from strict relationalism to absolute spacetime, has an analogous interpretive counterpart in the philosophy or Cartesian space and time.* »

cause efficiente et totale de tout ce qui a été créé et les lois de la nature qui permettent de décrire et d'expliquer les mouvements et les changements de mouvement des différentes parties de la matière. Dans cette perspective, le principe rend possibles et nécessaires les lois de la nature et, de cette façon, assure un passage harmonieux de la métaphysique à la physique.

2.1. Le principe de la conservation de la quantité de mouvement

Ce principe de conservation apparaît clairement dans le titre de l'article XXXVI de la deuxième partie des *Principia philosophiae* de Descartes : « *Deum esse primariam motus causam : & eandem semper motus quantitatem in universo conservare*[41]. » La première partie est un énoncé purement métaphysique, la seconde est le principe de la conservation de la quantité de mouvement, qui est un principe de physique appelé à jouer un rôle important dans l'histoire de la science. Nous essaierons de montrer comment la justification que présente Descartes de ce principe de la conservation de la quantité de mouvement lui permet d'effectuer une transition harmonieuse du domaine de la métaphysique au domaine de la physique. Nous pourrons ainsi observer comment les lois de la nature découlent en dernière analyse de la toute puissance divine.

Après avoir consacré au moins onze articles à préciser la nature du mouvement dans la deuxième partie des *Principes de la philosophie*, Descartes avoue dès le début de cet article 36 vouloir considérer la cause des mouvements. Il affirme s'intéresser d'abord à la cause première et universelle de tous les mouvements qui sont au monde, par la suite il considérera la cause seconde et particulière des divers mouvements observés dans les corps.

---

[41] A&T, VIII-1, p. 61.

En ce qui concerne cette première cause de tous les mouvements, Descartes affirme : « Pour ce qui est de la cause première il me semble qu'il est évident qu'il n'y en a point d'autre que Dieu, qui de sa toute-puissance a créé la matière avec le mouvement et le repos, et qui conserve maintenant, par son concours ordinaire, autant de mouvement et de repos, qu'il y a mis en le créant[42]. » La première partie de l'argumentation, que Dieu est la cause de tous les mouvements, repose sur une thèse largement acceptée dans la tradition aristotélicienne, à savoir que Dieu est la cause ultime de tout ce qui existe. Selon plusieurs commentateurs, la deuxième partie de l'argumentation, celle qui concerne le principe de conservation proprement dit, repose sur une thèse de la philosophie scolastique, suivant laquelle il n'y a pas de distinction réelle, pour Dieu, entre l'acte de création et l'acte de conservation. Cette interprétation, qui va à l'encontre de la thèse suivant laquelle le principe de conservation serait l'expression d'une action continue de Dieu dans l'univers, est exprimée clairement par Desmond Clarke : « *If one can stretch human language to speak about God's point of view then — from that perspective — there is no real distinction between creation and conservation. God's actions are eternal or non-temporal, and it makes no sense to think of God first creating the universe and then conserving it. It is one and the same atemporal act on God's part to create/conserve the universe*[43]. » Pour Descartes, le mouvement n'a pas été imprimé à la matière après la création, mais a été créé en même temps que la matière. D'ailleurs, le philosophe ne définit-il pas les « parties de matière » comme celles qui « partagent le même mouvement », rendant ainsi indissociables matière et mouvement. Dans ces circonstances, le principe de conservation du mouvement serait en quelque sorte inclus dans l'acte même de sa création. Des Chene, de son côté,

---

[42] AT, IX-2, p. 84.

[43] Desmond M. Clarke, *Descartes' Philosophy of Science*, Manchester, Manchester University Press, 1982, p. 90-91.

abonde dans le même sens[44]que Clarke et, en s'inspirant de certains textes de la philosophie scolastique, dont ceux de Suarez, tente de faire la démonstration de cette interprétation de Desmond Clarke. Des Chene, par ailleurs, pousse son analyse plus loin que ne le fait Clarke et soutient que le principe de conservation que présente Descartes découle de l'immuabilité de Dieu et de son « concours ordinaire » (*concursum ordinarium*) que mentionne Descartes dans le texte cité plus haut. D'ailleurs, Descartes, vers la fin de cet article 36 résume son argumentation en soulignant que le principe de conservation découle de l'immuabilité divine et de la constance de son action : « Nous connaissons aussi que c'est une perfection en Dieu, non seulement de ce qu'il est immuable en sa nature, mais encore de ce qu'il agit d'une façon qu'il ne change jamais[45]. » La thèse de Des Chene est que le concours ordinaire de Dieu est l'expression de sa *potentia ordinata* et produit la conservation du mouvement avec lequel le monde a été créé. La démonstration que propose Des Chene de cette thèse fait ressortir le caractère purement métaphysique du principe de conservation et des bases sur lesquelles il s'appuie. Dans une telle perspective, ce principe apparaît à ce moment de la présentation de Descartes dans les *Principes de la philosophie* dans une certaine continuité avec la philosophie traditionnelle. S'il faut chercher un élément de nouveauté en ce domaine, c'est dans la transition que Descartes effectue entre la métaphysique et la physique.

Afin d'amorcer une transition vers la physique, Descartes introduit dans un deuxième temps une nouvelle notion, soit celle de quantité de mouvement. Cette notion représente un élément essentiel de cet important article 36 des *Principes de la philosophie* et apparaît

---

[44] Dennis Des Chene, *op. cit.*, p. 325 : « *To hold, as Descartes too holds, that creation and conservation are one and the same does not entail, as some authors have supposed, that conservation is the re-creation of the world at each instant.* »
[45] AT, IX-2, p. 84.

d'ailleurs de façon explicite dans le titre que lui a donné Descartes. Il est indéniable que cette notion joue un rôle majeur dans la physique de Descartes et, par voie de conséquence, dans toute la physique du XVII^e siècle. L'introduction de cette notion par Descartes remplit deux fonctions importantes qu'il convient de mettre en lumière : d'une part, elle permet à Descartes d'ajouter un argument ultime et sans doute majeur à ceux qu'il a énoncés dans les articles précédents des *Principes de la philosophie* pour assurer au mouvement un statut ontologique qu'il n'avait pas dans la physique ancienne; d'autre part, elle permet à Descartes d'amorcer une transition harmonieuse de la métaphysique à une physique nouvelle dans laquelle les mathématiques deviennent un élément constitutif essentiel. Considérons d'abord comment Descartes introduit la notion de *motus quantitas* : « Car, bien que le mouvement ne soit qu'une façon en la matière qui est mue, elle en a pourtant une certaine quantité qui n'augmente et ne diminue jamais, encore qu'il y en ait tantôt plus tantôt moins en quelques unes de ses parties[46]. » Pour bien comprendre la portée et l'importance de ce passage, il convient d'en considérer la version originale dans l'édition latine des *Principia philosophiae* : « *Nam quamvis ille motus nihil aliud sit in materia mota quam ejus modus; certam tamen & determinatam habet quantitam, quam facilè intelligimus eandem semper in tota rerum universitate esse posse, quamvis in singulis ejus partibus mutetur*[47]. » Tout en admettant que le mouvement n'est qu'un mode (*modus)* de la matière, Descartes affirme qu'il possède une certaine quantité (*certam & determinatam quantitatem*). Rappelons pour l'essentiel que le mot « *quantitas* » est issu, de l'aveu même de Descartes[48], du vocabulaire de la géométrie et désigne ce qui peut être divisé en parties.

---

[46] *Ibid.*, p. 83.
[47] A&T, VIII-1, p. 61.
[48] Voir à l'article 64 de la deuxième partie des *Principes de la philosophie*, où Descartes écrit : « Car j'avoue franchement ici que je ne connais point d'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 l'objet de leurs démonstrations ; et que je ne considère, en cette matière, que ses divisions, ses

Dans certains articles des *Principes de la philosophie*, Descartes affirme que la quantité, au même titre que l'étendue, caractérise la substance matérielle et peut donc être considérée comme un attribut essentiel de celle-ci[49]. Or, dans cet article 36 des *Principes de la philosophie,* Descartes fait un pas de plus et associe le terme de quantité au mouvement en tant que tel. Dans les articles 23 à 33 de la deuxième partie des *Principes de la philosophie*, Descartes s'est interrogé sur la nature même du mouvement afin de pouvoir lui conférer un statut ontologique qui puisse lui permettre éventuellement d'utiliser le mouvement comme principe d'explication des phénomènes de la nature. Dans cette perspective, il faut admettre que le mouvement ne saurait avoir un statut égal à celui de la matière, puisque celle-ci peut exister sans le mouvement, alors que l'inverse est impossible. Cependant, en associant au mouvement une certaine quantité, Descartes lui accorde un statut ontologique comparable à celui de la matière elle-même et, de cette façon, rend possible l'utilisation de la géométrie dans la description des mouvements.

Par la même occasion, on observe un début de transition de la métaphysique à la physique. En effet, au début de cet article XXXVI, Descartes, après avoir affirmé que Dieu est la cause première et universelle de tous les mouvements qui sont dans le monde, utilise l'expression « *mihi manifeste videtur* », « il me semble évident », pour présenter de façon très générale la conservation d'autant de mouvement et de repos que Dieu a créé dès le début de l'univers. L'expression utilisée par Descartes et le recours à la causalité divine

---

figures et ses mouvements ; 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 d'une démonstration mathématique. », A&T IX-2, p. 102.

[49] Ainsi à l'article VIII de la deuxième partie des *Principia philosophiae,* Descartes présente cette thèse importante : « *Quippe quantitas a substantia extensa in re non differt, sed tantum ex parte nostri conceptus, ut & numerus a re numerata.* » A&T, VIII-1, p. 44. De même, un peu plus loin dans le même article, Descartes écrit : « *In re autem fieri non potest, ut vel minimum quid ex ista quantitate aut extensione tollatur, quin tantundem etiam de substantia detrahatur ; nec vice versa, ut tantillum de substantia detrahatur, quin tantundem de quantitate ac extensione tollatur.* », A&T, VIII-1, p. 45

place le principe de conservation dans le domaine de la métaphysique pure. On se rappellera les mots de Descartes en réponse à la question du Père Mersenne qui l'interrogeait sur le genre de causalité par lequel Dieu a établi les vérités éternelles : « [...] je sais que Dieu est auteur de toutes choses [...] Je dis que je le sais, et non pas que je le conçois ni que je le comprends[50] ». Or, un peu plus loin dans ce même article XXXVI, lorsque Descartes présente de nouveau le principe de conservation, la formulation est différente, il est maintenant question de la conservation de la quantité de mouvement totale des choses, plutôt que du mouvement en général. De plus, Descartes utilise maintenant l'expression «*facile intelligimus* », pour présenter le principe et le situe de ce fait dans le domaine de l'intellection, c'est-à-dire des choses accessibles à l'esprit humain. Il ressort de cette discussion, que Descartes, en utilisant le concept de « *quantitas* », amorce une transition souple vers une physique mathématique, dans laquelle la quantité de mouvement totale pourra être divisée en différentes parties qui pourront être modifiées selon les interactions qu'elles auront entre elles. Ainsi, le principe n'a plus la forme générale et globale qu'il avait au début de la présentation de cet article 36, mais apparaît sous une forme autonome, libérée des considérations théologiques qui l'accompagnaient au départ.

Dans un troisième temps, Descartes complète la transition vers la physique : « C'est pourquoi, lorsqu'une partie de matière se meut deux fois plus vite qu'une autre, et que cette autre est deux fois plus grande que la première, nous devons penser qu'il y a autant de mouvement dans la plus petite que dans la plus grande ; et que toutes fois et quantes que le mouvement d'une partie diminue, celui de quelque autre partie augmente à proportion[51]. » Achevant le mouvement du général au particulier qu'il avait amorcé dans la partie

[50]A&T, I, p. 152.
[51] A&T, IX-2, p. 84.

précédente, Descartes illustre le principe de conservation en ne considérant que le cas le plus simple de deux parties de matière qui ont des rapports simples entre elles. À cette fin, il présente l'exemple d'une partie de matière dont la vitesse est le double de celle de la deuxième, alors que le rapport des grandeurs est l'inverse. On le constate, Descartes franchit une étape de plus en rendant explicite la notion de quantité de mouvement dans le domaine de la physique : elle est égale au produit de la grandeur d'un objet par sa vitesse. En considérant des objets de même densité, on pourrait identifier la quantité de mouvement au produit de l'étendue par la vitesse. Ainsi, dans la mesure où la quantité de mouvement inclut dans sa définition l'étendue, elle peut être considérée elle aussi, mais de façon dérivée sans doute, comme un attribut essentiel de la substance matérielle et se voit confirmer un statut ontologique comparable à celui de l'étendue.

Après avoir présenté en quelque sorte une mesure de la quantité de mouvement de ces deux objets, Descartes applique à ces derniers le principe de conservation en affirmant que si la quantité de mouvement de l'un de ces objets varie, la quantité de mouvement de l'autre doit varier en proportion inverse afin que la quantité de mouvement totale reste constante. Il serait possible d'interpréter cette présentation du principe de conservation comme la version physique du principe métaphysique présenté plus tôt par Descartes. Si tel est le cas, on constate immédiatement le rôle clé joué par le concept de quantité. En premier lieu, la quantité de mouvement totale d'un ensemble peut être divisée, comme l'indique Descartes, en parties plus petites entre lesquelles il est possible d'établir des rapports, comme on le fait pour les quantités géométriques, en second lieu, la quantité de mouvement d'un même objet peut être divisée en une partie matière et une partie vitesse et en troisième lieu, chacune de ces parties, la grandeur de l'objet d'une part, sa vitesse d'autre part, peut être divisée en parties plus petites dans lesquelles il est possible d'établir des rapports, comme l'indique Descartes par son exemple. Ainsi, à travers ce principe de conservation de la quantité de mouvement totale, appliqué à deux objets, principe dont l'origine est purement métaphysique, commence à prendre forme le projet d'une mathématisation de la nature. Ce principe ne saurait avoir un caractère de validité s'il n'était relié étroitement aux phénomènes de la nature. Voilà pourquoi Descartes, à partir de l'article 37, commence à présenter ce qu'il appelle les causes secondes et particulières des divers mouvements observés dans les corps et qu'il nomme les lois de la nature. Ces règles décrivent, d'une part, le comportement des corps entre les moments où ils entrent en interaction et, d'autre part, la nature de ces interactions. Nous nous intéresserons plus particulièrement aux deux premières lois qui ont éventuellement donné naissance au principe d'inertie.

2.2. Les causes secondes et particulières des divers mouvements

Le principe de la conservation de la quantité de mouvement est un principe général qui s'applique à l'univers dans sa totalité. Or, un des objectifs poursuivis par l'auteur des *Principes de la philosophie* est d'expliquer les phénomènes de la nature à partir des mouvements et des changements de mouvements qui se produisent lors de la rencontre des corps. Dans cette perspective, il était nécessaire pour Descartes d'établir d'abord des règles qui permettent de décrire le comportement d'un corps en particulier avant que celui-ci n'entre en collision avec un autre corps. Ces règles, qu'il qualifie de causes particulières des mouvements, sont le prolongement du principe de conservation établi à la section précédente, puisqu'elles décrivent comment le principe de la conservation de la quantité de mouvement s'applique au cas d'un corps soustrait à toute influence extérieure. Nous considérerons la présentation que fait Descartes des deux premières lois de la nature et nous

nous intéresserons à l'utilisation qu'il en fait dans l'explication d'un phénomène de la nature, soit celui du mouvement circulaire.

2.2.1. La première loi de la nature

Le sommaire de l'article XXXVII résume très bien le contenu et le sens de la première loi : « XXXVII. *Prima lex naturae : quòd unaquaeque res, quantum in se est, semper in eodem statu perseveret ; sicque quod semel movetur, semper moveri pergat*[52]. » Bien que cette phrase ne soit pas l'expression complète de la première loi, on y retrouve les éléments essentiels : en premier lieu, un énoncé d'un principe de conservation très général par lequel une chose, de par sa nature, persévère dans son état ; en second lieu, l'énoncé est appliqué au mouvement et annonce, sans précision, la continuation de ce dernier une fois qu'il a été amorcé. On retrouve déjà l'équivalent de cette première loi de la nature dans une lettre de Descartes au P. Mersenne, datée du 26 avril 1643. Descartes informe son interlocuteur qu'il doit établir deux principes de physique, avant de pouvoir expliquer sa physique. Le premier de ces principes est l'affirmation qu'il n'y a aucune qualité réelle en la nature, le second annonce déjà ce que sera la première loi de la nature : « Que tout ce qui est, ou existe, demeure toujours en l'état qu'il est, si quelque cause extérieure ne le change[53]. » Ce principe de physique, expression de la conservation d'état d'une substance, s'appuie en quelque sorte sur l'immuabilité divine et en ce sens admet un fondement purement métaphysique, selon les termes mêmes de Descartes dans sa lettre au P. Mersenne : « Ce que je prouve par la métaphysique : car Dieu, qui est auteur de toutes choses, étant tout

---

[52] A&T VIII-1, p. 62 « 37. La première loi de la nature ; que chaque chose demeure en l'état qu'elle est, pendant que rien ne le change; [et ainsi, que ce qui est mû une fois continue toujours de se mouvoir] », A&T, IX-2, p. 84.

[53] A&T, III, p. 649.

parfait et immuable, il me semble répugner qu'aucune chose simple qui existe, et par conséquent dont Dieu est auteur, ait en soi le principe de sa destruction[54]. » Or, dès l'introduction de l'article 37, Descartes s'appuie de nouveau sur l'immuabilité divine et sur la constance de son action dans l'univers pour justifier ses lois de la nature : « De cela aussi que Dieu n'est point sujet à changer, et qu'il agit toujours de même sorte, nous pouvons parvenir à la connaissance de certaines règles que je nomme les lois de la nature[55]. » On remarquera que Descartes ne parle plus de principes de physique, comme dans sa lettre au P. Mersenne, mais de règles ou lois de la nature[56]dont la première est présentée de la façon suivante :

> *Unamquamque rem, quatenus est simplex & indivisa, manere, quantum in se est, in eodem semper statu, nec unquam mutari nisi à causis externis*[57].
>
> Chaque chose en particulier continue d'être en même état autant qu'il se peut, et jamais elle ne le change que par la rencontre des autres[58].

La traduction de l'abbé Picot s'écarte en quelques endroits de la version originale latine. La substitution à l'expression « *simplex & indivisa* » de « en particulier », pour qualifier la chose est peu significative. Par contre, Picot, en traduisant « *quantum in se est, in eodem semper statu* » par « en même état autant qu'il se peut » rend de façon imprécise la version originale. L'expression « *quantum in se est* » revêt une importance particulière, comme en témoigne une étude que lui a consacrée I. B. Cohen[59]. Gabbey, en s'inspirant de cette étude,

---

[54] *Ibid.*, p. 649.
[55] A&T, IX-2, p. 84.
[56] À propose du choix de ces termes, voir la remarque pertinente de Frédéric De Buzon et Vincent Carraud : « Le début du chapitre VII du *Monde* permet de fixer l'usage le plus fréquent du terme de « principe », dès lors qu'il s'agit de le démarquer de « loi » ou « règle ». Ce que dieu fait ou maintient, voilà ce dont l'énoncé constitue les principes ou les fondements (métaphysiques). Ce qu'en vertu de ces principes la nature fait, voilà ce qui s'énonce sous forme de lois ou de règles — selon lesquelles se font les changements dans le monde. » dans Frédéric De Buzon et Vincent Carraud, *Descartes et les « Principia » II. Corps et mouvement*, Paris, PUF, 1994, p, 30.
[57] A&T, VIII-1, p. 62.
[58] A&T, IX-2, p. 84.
[59] I. B. Cohen Cohen, « 'Quantum in se est' : Newton's Concept of Inertia in Relation to Descartes and Lucretius. », *Notes and Records of the Royal Society* 19 (1964):p. 131-155.

conclut que l'expression a deux connotations : la première est la limitation du pouvoir d'un corps à demeurer dans un état donné, la deuxième renvoie au caractère inné ou naturel d'une chose et pourrait être rendue par les termes « spontanément », « de par sa nature»[60]. De plus, Picot, en omettant de traduire le mot « *semper* » par « toujours » et un utilisant à la place « autant qu'il se peut », atténue le caractère de loi qu'avait voulu donner Descartes à cette règle. Le dernier changement observé est celui où Picot utilise l'expression« par la rencontre des autres [choses]. » plutôt que l'expression « sinon par l'effet de causes extérieures ». Bien que dans plusieurs cas les deux expressions soient totalement synonymes, comme par exemple dans l'étude du choc de deux objets, la référence à des causes extérieures à l'objet est plus générale et permet, entre autres choses, de mieux expliquer des phénomènes comme le mouvement circulaire, dans lequel la rencontre des autres corps est moins évidente.

Après avoir énoncé cette loi générale de la conservation d'état, Descartes précise ce qu'il entend par « état » en donnant comme exemple la figure carrée d'un objet ou le fait que cet objet demeure au repos. Le point le plus important, cependant, est le fait qu'il applique cette loi générale au cas du mouvement, ce qui constitue une innovation remarquable par rapport à la physique ancienne :

> [Lorsqu'une partie de matière] a commencé une fois de se mouvoir, nous n'avons aussi aucune raison de penser qu'elle doive jamais cesser de se mouvoir de même force, pendant qu'elle ne rencontre rien qui retarde ou arrête son mouvement. De façon que, si un corps a commencé une fois de se mouvoir, nous devons conclure qu'il continue par après de se mouvoir, et que jamais il ne s'arrête de soi-même[61].

Pour bien saisir la portée de cet énoncé de la persistance du mouvement en l'absence de forces extérieures, il est nécessaire de s'arrêter à l'argumentation utilisée par Descartes.

---

[60] A. Gabbey, *loc. cit.*, p. 315, n175

[61] A&T, IX-2, p. 84.

Dans un premier temps, il pose un principe général de conservation d'état, universellement reconnu et accepté par la philosophie scolastique, dans un deuxième temps, il cherche à montrer que ce principe s'applique autant au mouvement qu'aux autres modes de la substance et c'est en cela qu'il a conscience de s'opposer à la physique de la philosophie scolastique. Le principe de conservation d'état, déjà entrevu dans la physique aristotélicienne, est bien présent dans la philosophie scolastique. Les Conimbres, à propos de la conservation divine affirment que « d'avoir une tendance innée à ne pas exister est contraire à la nature des choses créées, puisque toutes les créatures tendent vers l'opposé et ont un désir à se perpétuer elles-mêmes, autant qu'elles le peuvent[62]». Ailleurs dans le même texte, les Conimbres affirment que « désirer sa propre destruction est ce qu'il y a de plus éloigné des lois de la nature[63] ». On retrouve d'ailleurs des propos semblables sous la plume de Saint Thomas d'Aquin. Ainsi, à la question 104. du traité *De Gubernatione rerum a Deo*, tiré de la *Somme théologique*, Saint Thomas demande si les créatures ont besoin d'être conservées par Dieu. Il répond qu'« un agent créé peut communiquer à son effet de se conserver dans l'être, même après que cet agent a cessé d'exercer sur lui son activité. À plus forte raison Dieu, plus puissant qu'un agent créé, peut-il communiquer à sa créature le pouvoir de se conserver dans l'être, même après qu'il a cessé de la produire[64] ». Dans le même ordre d'idée, dans le traité *De Lege Naturali*, Saint Thomas affirme que de même que l'homme se sent d'abord attiré à rechercher le bien correspondant à sa nature, on

---

[62] « *tendere in non esse, id est, habere ingenitam propensionem ut non sint, esse contra naturam creaturarum; cùm omnes ad oppositum inclinentur, habeantque ut in argumento rectè assumitur, insitum desiderium sese, quoad fieri possit perpetuandi* .», Commentarii Collegii Societatis Jesu, *In octo libros Physicorum Aristotelis*, LIB II CAP. VII QUAEST. X, p. 269, reprod. de l'éd. de 1594, Hildesheim, Georg Olms Verlag, 1984.

[63] « *aliquid sui ipsius interitum appetere, quod à naturae legibus quam maximè est alienam.* », *ibid.*, LIB. I, CAP IX QUAESTIO I. p. 149.

[64] Saint Thomas d'Aquin, *Somme théologique*, I^{a}-2^{ae}, qu 104., trad. Ch.-V. Héris, Paris, Desclée & Cie, 1959, p. 46.

dire que « toute substance quelconque recherche la conservation de son être, selon sa nature propre (*secundum suam naturam*)[65] ». C'est manifestement dans cette tradition que se place Descartes lorsqu'il affirme pour justifier sa première loi de la nature que « rien ne se porte par l'instinct de sa nature (*ex propria natura*) à son contraire, ou à la destruction de soi-même[66] ». L'originalité de Descartes, il est important de le souligner, consiste à inclure le mouvement, au même titre que la figure ou le repos, dans les caractéristiques de l'état qui se conserve[67]. Sur ce point précis, il convient d'observer l'évolution dans la pensée du philosophe. Alors que dans *Le Monde,* Descartes se contentait d'ironiser sur la position des scolastiques à laquelle il s'opposait, qualifiant d'étrange un mouvement qui , contre les lois de la Nature, « tâche soi-même à se détruire[68] », dans les *Principes de la philosophie,* il tente d'expliquer l'origine de ce « faux préjugé, qui répugne manifestement aux lois de la nature[69] ». Ainsi, la première difficulté que mentionne Descartes réside dans le fait que l'expérience quotidienne tend à démontrer le contraire de cette loi, puisque tous les objets en mouvement que nous pouvons observer s'arrêtent après que le mouvement a été amorcé :

> Mais, parce nous habitons une terre dont la constitution est telle que tous les mouvements qui se font auprès de nous cessent en peu de temps, et souvent par des raisons qui sont cachées à nos sens, nous avons jugé, dès le commencement de notre vie, que les mouvements qui cessent ainsi par des raisons qui nous sont inconnues, s'arrêtent d'eux-mêmes, et nous avons encore à présent beaucoup d'inclination à croire le semblable de tous les autres qui sont au monde, à savoir que naturellement ils cessent d'eux-mêmes, et qu'ils tendent au repos, parce qu'il nous semble que nous en avons fait l'expérience en plusieurs rencontres[70].

---

[65] Saint Thomas d'Aquin, *Somme théologique,* I^{a}-2^{ae} qu. 94., trad. M.-J. Laversin, Paris, Desclée & Cie, 1935, p. 1111.
[66] A&T, IX-2, p. 85.
[67] Voir *Le Monde :* « [le mouvement] que je suppose suit les mêmes lois de la Nature, que font généralement toutes les dispositions et toutes les qualités qui se trouvent en la matière », A&T, XI, p. 40.
[68] A&T, IX-2, p. 85.
[69] *Ibid.*, p. 85.
[70] *Ibid.*, p. 85.

Que les objets tendent naturellement au repos, voilà la vision du mouvement de la physique aristotélicienne et scolastique. Descartes tente de démontrer que cette pseudo tendance au repos ne peut être une loi de la nature en examinant les processus de connaissance qui ont pu produire un tel schéma. Parce que nous ne connaissons pas les raisons pour lesquelles les mouvements cessent, c'est-à-dire, pour reprendre les termes de la première loi, que nous ne connaissons pas les causes externes qui produisent les changements d'état de mouvement, nous en arrivons à penser faussement que de telles causes n'existent pas. Descartes rejette cette vision ancienne du mouvement en affirmant que le repos étant contraire au mouvement, rien ne tend de par sa nature à son contraire ou à se détruire. Les commentaires précédents de Descartes illustrent très bien, nous semble-t-il, son projet de fonder sa physique sur la métaphysique. En partant de principes métaphysiques différents de ceux d'Aristote, Descartes cherche à montrer qu'il peut expliquer au moins aussi bien qu'Aristote les mouvements simples des corps qui nous entourent. Cependant, afin de convaincre ses lecteurs de la supériorité de son système, Descartes doit montrer que la première loi de la nature peut dans certains cas offrir une meilleure explication que la physique aristotélicienne.

Voilà pourquoi, Descartes, à l'article suivant, choisit de commenter le mouvement dont les explications proposées par Aristote et par les philosophes scolastiques ont suscité le plus de problèmes, soit celui du mouvement des projectiles, *De motu projectorum*, comme l'indique le sommaire. On se rappellera qu'Aristote et plusieurs scolastiques à sa suite tentaient d'expliquer la continuation du mouvement d'un corps après que celui-ci a quitté la main du lanceur en affirmant que c'est l'air qui agit comme moteur et qui entretient le mouvement. D'autres explications ont été proposées par la suite, comme la théorie de l'*impetus*, suivant laquelle une sorte d'élan est transmis par la main du lanceur au mobile et entretient le mouvement pendant un certain temps par la suite. Selon Descartes, « il n'y a point d'autre raison pourquoi [les choses qu'on a poussées au loin] continuent de se mouvoir, lorsqu'elles sont hors de la main de celui qui les a poussées, sinon que, suivant les lois de la nature, tous les corps qui se meuvent continuent de se mouvoir jusques à ce que leur mouvement soir arrêté par quelque autre corps[71] ». Ainsi Descartes change complètement la perspective, il ne s'agit plus d'expliquer comment le mouvement de l'objet continue, en déterminant le moteur, mais plutôt d'expliquer pourquoi il cesse, en déterminant les causes externes qui produisent le changement d'état de mouvement, selon ce que propose la première loi de la nature. Or, à ce propos, l'air, loin d'être le moteur qui produit le mouvement, devient dans la nouvelle explication proposée par Descartes, la cause qui s'oppose au mouvement et qui diminue peu à peu la vitesse de l'objet. Par le fait même, puisque l'univers de Descartes est plein, il existe toujours de l'air ou un autre fluide qui s'oppose au mouvement et qui fait que les objets cessent de se mouvoir après un certain temps. Ainsi « les raisons inconnues » ou « les raisons cachées à nos sens » auxquelles Descartes faisait allusion à l'article précédent sont-elles précisées ici de façon simple. Le contenu de cet article 38 n'est pas tellement une preuve, comme l'indique Picot dans la traduction, — à ce point de vue, le latin est plus nuancé : « *Et verò quotidiana experientia, in iis quae projiciuntur, regulam nostram omnino confirmat*[72] » — qu'une illustration de la fécondité de son pouvoir d'explication de certains phénomènes de la nature. Par ailleurs, cette première règle ne saurait être suffisante pour les changements de mouvement observés, puisque Descartes n'y précise pas la nature du mouvement qui persiste en l'absence de causes extérieures et qu'il ne précise pas non plus la nature de ces

---

[71] *Ibid.*, p. 85.
[72] A&T, VIII-1, p. 63.

causes extérieures. C'est à ces questions que tente de répondre la deuxième loi de la nature que Descartes présente à l'article 39 de la deuxième partie des *Principes de la philosophie*.

2.2.2. La deuxième loi de la nature

Cette loi affirme que les corps ont naturellement une tendance à se déplacer suivant des lignes droites. Le sommaire de cet article XXXIX résume bien l'essentiel de cette loi ainsi que le lien que Descartes tente d'établir entre celle-ci et les corps en mouvement circulaire : « *Altera lex naturae : quòd omnis motus ex se ipso sit rectus ; & ideò quae circulariter moventur, tendere semper ut recedant à centro circuli quem describunt*[73]. » L'énoncé de cette deuxième loi est le suivant :

> La seconde loi que je remarque en la nature, est que chaque partie de la matière, en son particulier, ne tend jamais à continuer de se mouvoir suivant des lignes courbes, mais suivant des lignes droites, bien que plusieurs de ces parties soient souvent contraintes de se détourner, parce qu'elles en rencontrent d'autres en leur chemin, et que, lorsqu'un corps se meut, il se fait toujours un cercle ou anneau de toute la matière qui est mue ensemble[74].

Ainsi, l'énoncé distingue, d'une part, l'inclination naturelle des parties de matière à se mouvoir selon des lignes droites et, d'autre part, le mouvement réel de ces parties qui est circulaire. Nous examinerons la justification que propose Descartes de la tendance des corps à se déplacer suivant des lignes droites, qui constitue l'essentiel de la deuxième loi de la nature et nous commenterons l'usage qu'en fait Descartes dans l'explication du mouvement circulaire. Cette loi a le même fondement métaphysique que la première : « La cause de cette règle est la même que la précédente, c'est-à-dire l'immuabilité et la

---

[73] A&T, VIII-1, p. 63.

[74] A&T, IX-2, p. 85. Dans *Le Monde,* cette loi est appelée la troisième loi de la nature. La formulation qu'en donne Descartes est pratiquement identique à celle qu'on retrouve dans les *Principes de la philosophie* : « Que lorsqu'un corps se meut, encore que son mouvement se fasse le plus souvent en ligne courbe et qu'il ne s'en puisse jamais faire aucun, qui ne soit en quelque façon circulaire, ainsi qu'il a été dit ci-dessus, toutefois chacune de ses parties en particulier tend toujours à continuer le sien en ligne droite. », A&T, XI, p. 43-44.

simplicité de l'opération, par laquelle Dieu conserve le mouvement dans la matière[75]. » Si l'argument métaphysique est essentiellement le même que dans le cas précédent, on constate cependant l'apparition d'une nuance importante dans le cas présent. En effet, Descartes, en plus de s'appuyer sur l'immuabilité divine et sur la constance de son action, invoque la simplicité de cette action. Pour bien saisir la portée de ce terme et sa signification dans le présent contexte, il faut rappeler que pour Aristote et les scolastiques, le mouvement circulaire est le seul qui peut être qualifié de simple et de perpétuel. Aristote, au livre VIII de la *Physique*, affirme que le mouvement circulaire est antérieur au mouvement rectiligne « parce qu'il est plus simple et plus parfait[76] ». La simplicité et la perfection du mouvement circulaire résident dans le fait qu'il est un et continu à l'inverse du mouvement rectiligne. Pour ce dernier, « le début et la fin et le milieu sont déterminés, et il a tout en lui-même, de sorte qu'il y a un point d'où partira le mouvement et un point où il aboutira (car aux limites il y a toujours repos, aussi bien au départ qu'à l'arrivée)[77] ». Pour le circulaire, au contraire, chaque point « est semblablement et début et milieu et fin, de sorte qu'on est toujours et jamais au début et à la fin[78] ». Manifestement, Descartes interprète d'une façon totalement différente le critère de simplicité. Selon lui, seul le mouvement rectiligne peut être qualifié de simple, car Dieu ne conserve pas le mouvement « comme il a pu être quelque temps auparavant, mais comme il est précisément au même instant qu'il le conserve[79] ». Or, l'expression « au même instant », implique nécessairement que le mobile en un point de sa trajectoire, se déplace suivant une seule direction et donc suivant une ligne droite, puisqu'une direction unique ne peut être conçue que pour une

---

75 « *Causa hujus regulae eadem est quae praecedentis, nempe immutabilitas & simplicitas operationis, per quam Deus motum in materiâ conservat* », A&T, VIII-1, p. 63.

76 Aristote, *Physique*, 265 a13, trad. Par Henri Carteron, *op. cit.*, T. 2, p. 136.

77 Aristote, *Physique*, 265 a33

78 Aristote, *Physique*, 265 a 33

79 A&T, IX-2, p. 86.

ligne droite. Dans *Le Monde*, Descartes résume de façon plus explicite la raison pour laquelle le mouvement rectiligne est, à son avis, plus simple que le mouvement circulaire :

> Or, est-il que, de tous les mouvements, il n'y a que le droit qui soit entièrement simple et dont toute la nature soit comprise en un instant. Car pour le concevoir, il suffit de penser qu'un corps est en action pour se mouvoir vers un certain côté, ce qui se trouve en chacun des instants qui peuvent être déterminés pendant le temps qu'il se meut. Au lieu que, pour concevoir le mouvement circulaire, ou quelque autre que ce puisse être, il faut au moins considérer deux de ses instants, ou plutôt deux de ses parties, et le rapport entre elles[80].

Après avoir établi cet argument d'ordre épistémologique pour convaincre ses lecteurs de la validité de la deuxième loi de la nature, Descartes va se tourner du côté de l'expérience. Or, de ce point de vue, une difficulté majeure surgit immédiatement. En effet, si tout mobile à une tendance à se mouvoir suivant une ligne droite en un instant, il faut admettre, comme le fait Descartes, que le mouvement ne se fait pas en un instant. En ce sens, Descartes doit concilier cette inclination des objets à se mouvoir en ligne droite avec le fait que la plupart des mouvements qui existent dans la nature ne sont pas rectilignes, mais très souvent circulaires. À ce sujet, les explications qu'il fournit visent deux objectifs : d'une part, prouver par l'expérience la validité de cette seconde loi de la nature et, d'autre part, expliquer la nature du mouvement circulaire, à partir précisément de cette deuxième loi. Pour ce faire, le philosophe présente un schéma dans lequel une fronde, retenue par une main, fait tourner une pierre dans un mouvement circulaire.

[80] A&T, XI, p. 44-45.

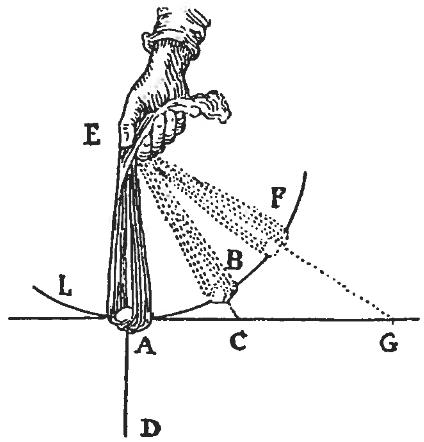


Fig. 1 — *Mouvement d'une pierre à l'extrémité d'une fronde*

Source : A&T, VIII-1, p. 64.

L'argumentation de Descartes peut être résumée de la façon suivante :

Une pierre est entraînée dans un mouvement circulaire ABF par la fronde. En l'instant qu'elle est au point A, elle est déterminée à se mouvoir dans tel ou tel sens. Or, c'est un fait que ce sens est suivant la ligne droite AC.

Et, cette ligne droite AC est, bien entendu, tangente au cercle. Certains commentateurs[81]ont affirmé que Descartes ne présente aucun argument pour montrer que la direction assignée à cette tendance au mouvement rectiligne doit être suivant la tangente à la courbe en un point. Nous pensons, contrairement à ces commentateurs, que tout argument ajouté par Descartes à ce propos aurait été superfétatoire. En effet, si l'on s'en tient au mouvement circulaire de la pierre, sa direction *à l'instant* où elle est au point A est suivant la ligne AC, tangente au cercle, ou bien elle ne l'est pas. Dans ce dernier cas, la direction du mouvement serait nécessairement suivant une sécante au cercle et par conséquent la ligne droite en question croiserait le cercle en deux endroits différents. On aurait donc besoin de deux instants différents pour localiser ces points sur la trajectoire circulaire et donc on ne pourrait affirmer que cette direction est celle de la pierre *à l'instant* où elle est au point A. Par la suite, Descartes précise comment cette loi est confirmée par l'expérience. En effet, la pierre, lorsqu'elle sort de la fronde, se déplace suivant une ligne droite et ne tend d'aucune

[81] Voir par exemple Des Chene, *op. cit.*, p. 281.

façon à se mouvoir suivant le mouvement circulaire qu'elle avait auparavant. La deuxième loi de la nature est ainsi vérifiée expérimentalement, aux yeux de Descartes, puisqu'en l'absence de la force extérieure exercée par la fronde, le mouvement observé de la pierre est effectivement rectiligne et tangent au cercle au point où il quitte la fronde. La deuxième loi de la nature est ainsi justifiée à partir de considérations métaphysique, épistémologique et expérimentale. Par la suite, après avoir justifié cette importante loi de la nature, Descartes propose une explication du mouvement circulaire en se basant précisément sur cette loi.

3. L'analyse cartésienne du mouvement circulaire

Une thèse importante qu'énonce Descartes est qu'un objet en mouvement circulaire a une tendance à s'éloigner du centre du cercle, cette tendance qu'il appelle *conatus a centro* découle directement de la deuxième loi de la nature qu'il vient de démontrer. Ainsi, à la fin du même article 39 de la deuxième partie des *Principes de la philosophie*, Descartes a eu recours à l'expérience pour justifier la persistance du mouvement rectiligne après que la pierre a quitté la fronde, à la suite de quoi il ajoute : « Ce qui nous fait voir manifestement (*Ex quo sequitur*), que tout corps qui est mû en rond, tend sans cesse à s'éloigner du centre du cercle qu'il décrit[82]. » À l'appui de cette affirmation, Descartes invoque le fait que la personne qui fait tourner la pierre dans la fronde sent effectivement la tension qu'elle doit exercer pour permettre à ce mouvement circulaire de se réaliser. Le commentaire qu'il ajoute illustre l'importance qu'il accorde à cette explication : « Cette considération est de telle importance, et servira en tant d'endroits ci-après, que nous devons la remarquer soigneusement ici; et je l'expliquerai encore plus en long, lorsqu'il en sera temps[83]. » Les

[82] A&T, IX, 2, p.86.
[83] *Ibid.*, p. 86.

explications supplémentaires auxquelles fait allusion Descartes sont données aux articles 57 à 59 de la troisième partie des *Principes de la philosophie*. Avant de considérer les objectifs qu'il poursuit dans ces sections, il convient d'abord d'observer comment, à l'article 43 de la deuxième partie des *Principes de la philosophie*, Descartes intègre les deux premières lois de la nature pour expliquer comment il y a dans les corps une force pour agir ou pour résister.

3.1. La notion de force dans les *Principes de la philosophie*

Les deux premières lois de la nature vont d'abord servir à donner un sens particulier à la notion de force que Descartes utilisera par la suite dans l'étude du mouvement circulaire. Pour bien percevoir l'orientation nouvelle que Descartes donne à ce terme, il faut se reporter d'abord à l'article 65 de la première partie des *Principes de la philosophie* où il mentionne les modes de l'étendue (*modos extensionis*) que sont les figures, la situation de leurs parties et leurs mouvements et exclut de ces modes la force (*vis*) qui les provoque, en prenant soin d'ajouter qu'il en sera question en temps et lieu. Un peu plus loin, à l'article 25 de la deuxième partie, consacré au mouvement, Descartes établit une distinction nette entre celui-ci et la force ou l'action (*vim vel actionem*) qui transporte, afin « de montrer que le mouvement est toujours dans le mobile et non dans en celui qui meut[84] ». Par la suite, Descartes, à l'article XLIII de la deuxième partie des *Principia philosophiae*, s'appuie sur les deux premières lois de la nature qu'il vient de présenter pour expliquer comment il y a dans les corps une force pour agir ou pour résister. (« *In quo consistat vis cujusque corporis ad agendum vel resistendum* », dit le sommaire.) Considérons un passage important de cet article XLIII :

[84] *Ibid.*, p. 76.

> *Hîc verò diligenter advertendum est, in quo consistat vis cujusque corporis ad agendum in aliud, vel ad actioni alterius resistendum : nempe in hoc uno, quòd unaquaeque res tendat, quantum in se est, ad permanendum in eodem statu in quo est, juxta legem primo loco positam. Hinc enim id quod alteri conjunctum est, vim habet nonnullam, ad impediendum ne disjungatur; id quod disjunctum est, ad manendum disjunctum; id quod quiescit, ad perseverandum in suâ quiete, atque ex consequenti ad resistendum iis omnibus quae illam possunt mutare ; id quod movetur, ad perseverandum in suo motu, hoc est, in motu ejusdem celeritatis & versus eandem partem*[85].

Gabbey[86] souligne que les mots clé de ce passage sont *tendere* et *perseverare*. Ce dernier terme était utilisé par Descartes dans l'expression de la première loi et dénote, comme nous l'avons mentionné précédemment, l'idée de persévérance d'un corps dans son état de mouvement, avant que cet objet n'interagisse avec un autre corps ou, si l'on veut, en l'absence de forces extérieures. Descartes affirme qu'un corps qui persévère dans un état de repos a en conséquence (*ex consequenti*) une force pour résister aux autres corps qui pourraient modifier cet état ; selon Gabbey, cette force est aussi implicite pour les corps en mouvement. Dans ce cas, le mot *tendere* est associé à l'idée d'une force qui résiste à l'action d'un autre corps avec lequel il est en contact ou qui agit sur cet autre corps. Persévérance et résistance sont les deux pôles du principe d'inertie, que l'on retrouvera chez Newton et chez tous les utilisateurs éventuels de ce principe[87]. Or, c'est précisément à cette force de résistance que s'intéresse Descartes dans l'analyse du mouvement circulaire qu'il présente dans les articles 57 à 59 de la troisième partie.

---

[85] A&T, VIII-1, p. 66.

[86] Allan Gabbey, *loc. cit.*, p. 293-294.

[87] On retrouve d'ailleurs ces deux pôles dans les deux termes utilisés en langue allemande pour décrire le principe d'inertie : *Beharrungsgesetz*, qui dénote l'idée de persévérance, et *Trägheitsgesetz*, qui dénote l'idée de résistance.

3.2. Le *conatus a centro*

L'argumentation utilisée par Descartes pour démontrer la tendance qu'ont les corps en mouvement circulaire à s'éloigner du centre du cercle offre un exemple intéressant de la méthode cartésienne dans lequel il décompose ce problème complexe du mouvement circulaire en parties plus simples pour en expliquer le fonctionnement.

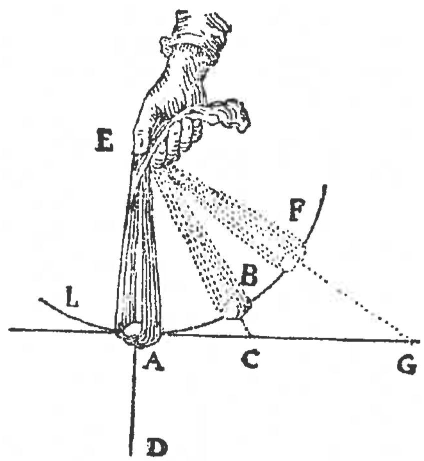


Fig. 2 — *Le conatus a centro d'une pierre en mouvement circulaire*

Source : A&T, VIII-1, p. 109.

Ainsi à l'article 57 de la troisième partie des *Principes de la philosophie*, Descartes explique comment il y dans le corps en mouvement circulaire deux tendances au mouvement, une tangente au cercle, l'autre radiale et vers l'extérieur.

Dans l'exemple de la fronde présenté précédemment, Descartes considère le mouvement de la pierre lorsqu'elle est au point A. À cet instant, la pierre a une tendance à un mouvement rectiligne tangent au cercle, donc vers la droite, selon la deuxième loi de la nature et, conséquemment, une tendance à s'éloigner du centre du cercle et donc à se diriger vers le point D. Par la suite, Descartes distingue par la pensée ces deux tendances et considère que celle qui est vers la droite, c'est-à-dire vers le point C, n'est pas empêchée par fronde. Il est possible d'interpréter ce passage important en affirmant que, si au moment où la pierre est au point A, la tendance à se mouvoir vers la droite était empêchée, on constaterait que son mouvement cesserait et, par conséquent, elle ne pourrait se rendre au point B et accomplir ainsi son mouvement circulaire[88]. C'est à l'autre tendance, celle suivant la ligne AD, qui est empêchée par la présence de la fronde, que va s'intéresser Descartes. Plus précisément, c'est par une analyse de cette tendance centrifuge qu'il va tenter d'atteindre son objectif, qui est de déterminer la quantité de force qu'il y a dans cette tendance.

3.3. La détermination quantitative du *conatus a centro*

Pour bien comprendre l'analyse de Descartes, il faut au départ être conscient du fait qu'il met en opposition, d'une part, la force interne de la pierre en mouvement qui tend à l'éloigner vers l'extérieur du cercle et, d'autre part, la force externe exercée par la fronde

---

88 Il faut prendre note que Descartes reprend ici, en l'améliorant, l'explication qu'il avait donnée dans *Le Monde*. Dans ce dernier texte, Descartes invitait le lecteur à imaginer « l'inclination qu'a la pierre à se mouvoir de A vers C, comme si elle était composée de deux autres, qui fussent l'une de tourner suivant le cercle AB, et l'autre de monter tout droit suivant la ligne AD », (A&T, XI, p. 84.) Par la suite Descartes ajoutait : « Puis, sachant que l'une des parties de son inclination, à savoir celle qui la porte suivant le cercle AB, n'est nullement empêchée par cette fronde [...] ». Or, il est malheureux que certains commentateurs, en s'inspirant de ce court passage tiré d'une section plutôt marginale d'un texte que n'a pas la forme achevée des *Principes de la philosophie*, ont tiré des conclusions qui vont à l'encontre à la fois des objectifs poursuivis par Descartes et des résultats accomplis à partir de son analyse du mouvement circulaire. Ainsi, R. S. Westfall commente ce dernier passage : « *Descartes returned unconsciously to embrace the ideas of a natural circular motion.* » R. S. Westfall, *Force in Newton's Physics*, New York, Neale Watson Academic Publications, 1971, p. 82. Shea, de son côté, interprète le même passage en affirmant : « *[Descartes] states that the circular component of the motion of the stone is "in no way impeded," hence inertial*. », (William R. Shea, *The magic of numbers and motion : the scientific career of René Descartes,* Canton, Science History Publications, 1991, p. 282.) On doit affirmer à la suite de ces propos qu'un lecture même sommaire de l'analyse cartésienne du mouvement circulaire permet de voir que Descartes tente d'expliquer ce mouvement à partir, d'une part, du mouvement naturel simple qu'est le mouvement rectiligne uniforme et, d'autre part, de la présence d'une force extérieure; en ce sens, son analyse représente beaucoup plus une déconstruction du mouvement circulaire inertiel qui prévalait chez Galilée et chez les philosophes de la tradition aristotélicienne que son maintien, ne serait-ce que de façon inconsciente. D'ailleurs, en ce qui concerne la nécessité d'une force extérieure pour maintenir le mouvement circulaire, les deux textes, *Le Monde* et les *Principes de la philosophie* affirment exactement la même chose comme nous le font voir les deux extrais suivants : « Ainsi, par exemple, la pierre qui tourne dans une fronde suivant le cercle AB [...] tend circulairement de A vers B, si on considère son mouvement comme réglé et déterminé par la longueur de la corde qui la retient [...] » (*Le Monde,* A&T, XI, p. 84.) « Par exemple, la pierre qu'on fait tourner dans la fronde tend véritablement d'A vers B, si on considère toutes les causes qui concourent à déterminer son mouvement, parce qu'elle se meut en effet vers là ; mais on peut dire que cette même pierre tend vers C lorsqu'elle est au point A, si on ne considère que la force de son mouvement toute seule et son agitation [...] », (*Les principes de la philosophie*, A&T, IX-2, p. 131.) À la lecture de ces deux passages, on constate qu'une cause extérieure est requise pour le mouvement circulaire de la pierre, alors que la seule force de son mouvement suffirait pour qu'elle se déplace en ligne droite de A vers C, si elle était libre de le faire.

qui empêche cette pierre de s'éloigner du centre du cercle. La connaissance de l'une de ces forces donnera accès à la connaissance de l'autre. Même si le résultat obtenu par Descartes est considéré comme un demi-échec par la plupart des commentateurs[89], cela ne doit pas nous empêcher de reconnaître l'originalité et la fécondité de la méthode qu'il utilise, puisque cette même méthode sera éventuellement utilisée avec succès par Huygens, Newton et Leibniz dans les analyses qu'ils feront du mouvement circulaire. L'élément essentiel de cette méthode consiste à comparer le mouvement circulaire de la pierre, dans lequel la tendance vers l'extérieur est empêchée, avec le mouvement hypothétique d'un objet, dans lequel cette tendance vers l'extérieur n'est pas empêchée. De cette façon, le problème de la détermination de la force est réduit à sa dimension purement géométrique. Pour ce faire, Descartes utilise deux analogies mécaniques. Dans la première, il affirme :

> Comparons le mouvement dont cette pierre irait vers C, si rien ne l'en empêchait, avec le mouvement dont une fourmi qui serait au même point A irait vers C, supposant que EY fût une règle sur laquelle cette fourmi marcherait en ligne droite d'A vers Y, pendant qu'on ferait tourner cette règle autour du centre E, et que son point marqué A décrirait le cercle ABF, d'un mouvement tellement proportionné à celui de la fourmi qu'elle se trouverait à l'endroit marqué X quand la règle serait vers C, puis à l'endroit marqué Y quand la règle serait vers G, & ainsi de suite, en sorte qu'elle serait toujours en la ligne droite ACG[90].

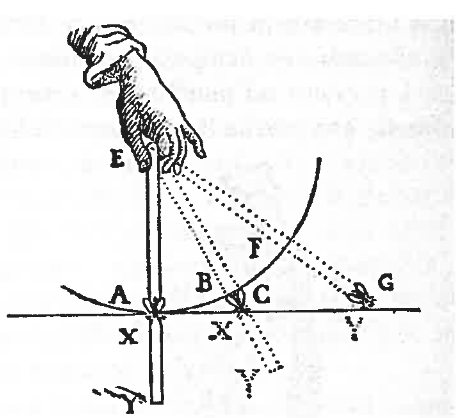


Fig. 3 — *Mouvement d'une fourmi sur une règle en rotation*

Source : A&T, VIII-1, p. 110.

---

[89]Parmi ceux-ci, on peut citer Barbour, p. 422, Westfall, p. 78-82, Garber, p.220-223, Shea, p. 281-282.
[90] A&T, IX-2, p. 132.

Il est important de mettre en relief un élément important de ce passage pour bien comprendre l'argumentation de Descartes. En effet, ce dernier précise que le mouvement de la règle est proportionné à celui de la fourmi sur la règle, afin que la fourmi soit « toujours en la ligne droite ACG ». Cet élément est essentiel à la compréhension du texte et au sens même de l'analogie, puisqu'il représente le point commun qui permet de faire la comparaison entre le mouvement de la pierre et celui de la fourmi. Ainsi, en supposant que le mouvement de rotation de la pierre dans la fronde est identique à celui de la règle, on constate immédiatement que si ce mouvement est rapide, le mouvement de la fourmi devra être rapide lui aussi, afin qu'elle puisse atteindre dans les temps requis la ligne ACG. À cette comparaison du mouvement de la pierre avec celui de la fourmi, Descartes en ajoute une deuxième, afin de passer du mouvement à la force qui lui est associée :

> Comparons aussi la force dont la pierre qui tourne dans cette fronde, suivant le cercle ABF, fait effort[91] pour s'éloigner du centre E, suivant les lignes AD, BC, FG, avec l'effort que ferait la même fourmi si elle était attachée sur la règle EY au point A, de telle façon qu'elle employât toutes ses forces pour aller vers Y et s'éloigner du centre E, suivant les lignes droites EAY, EBY, et autres semblables, pendant que cette règle l'emporterait autour du centre E[92].

Ce n'est plus le mouvement de chacun des deux objets en tant que tel qui est ici comparé, mais la force qui est dans le *conatus* de la pierre, *conatus* qui est empêché par la présence de la fronde, avec la force dans le *conatus* de la fourmi, *conatus* qui n'est pas empêché et qui, par conséquent, donne lieu à ce mouvement de la fourmi vers l'extérieur du cercle. Dans un troisième temps, Descartes fait le lien entre le mouvement et le *conatus* en établissant un rapport de proportionnalité entre la vitesse de la fourmi sur la règle et la force de son *conatus* : plus grande est sa vitesse, plus grande est la force du *conatus* qui l'éloigne

[91] Le mot effort qui revient à plusieurs reprises dans ce passage est une traduction du mot latin « *conatus* » dont le sens est plus proche des mots « tendance » ou « inclination ». En ce sens il faut considérer cet effort comme une tendance inhérente à un corps en mouvement circulaire et découlant de la deuxième loi de la nature.

[92] A&T, IX-2, p. 132.

du centre E. On aura remarqué que le raisonnement de Descartes est purement *a priori* et a comme point de départ la deuxième loi de la nature. Voilà pourquoi, le philosophe ajoute une seconde analogie, qui, à la différence de la première, peut être réalisée rapidement par n'importe quel observateur.

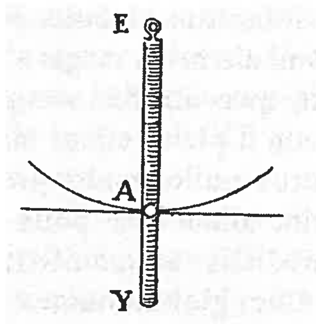


Fig. 4 — *Mouvement d'une boule dans un tuyau en rotation*

Source : A&T, VIII-1, p. 111.

Une petite boule A est mise dans le tuyau EY. Par la suite, le tuyau est mis en rotation autour du centre E et on observe le mouvement de la boule. Descartes écrit : « Nous voyons – le latin est plus explicite : *Atque hoc experientia confirmat* – que lorsqu'on fait tourner ce tuyau EY assez vite autour du centre E, la petite boule qui est dedans passe fort promptement d'A vers Y[93] ». Il en est de même pour la boule comme il en était de la fourmi. On observe que plus la vitesse de rotation est grande, plus la vitesse d'éloignement à partir du centre E est grande. Cette vitesse d'éloignement est due, selon Descartes, à la présence d'un *conatus* dont la force augmente avec cette vitesse d'éloignement. Ces deux analogies ont pour seul objectif de justifier la conclusion que présente Descartes à la fin de l'article 59 : « Nous voyons aussi que la pierre qui est dans une fronde fait tendre la corde d'autant plus fort qu'on la fait tourner plus vite ; et parce que ce qui fait tendre cette corde

[93] *Ibid.*, p. 133.

n'est autre chose que la force dont la pierre fait effort pour s'éloigner du centre autour duquel elle est mue, nous pouvons connaître par cette tension quelle est la quantité de cet effort (*istius vis quantitatem*)[94]. » En d'autres mots, la force de résistance de la pierre en mouvement circulaire augmente avec la vitesse de cette pierre, de sorte qu'une force extérieure égale à la force de résistance est requise pour maintenir la pierre en mouvement. Le résultat obtenu est certainement en deçà des attentes que laissait entrevoir le sommaire, *Quanta sit vis istius conatus*, puisque Descartes n'a pas pu déterminer une expression quantitative pour la force centrifuge. Cependant, l'explication de Descartes représente un excellent point de départ dont sauront s'inspirer Huygens, Newton et Leibniz dans leurs démonstrations de l'expression mathématique de la force centrifuge et, à ce titre, elle constitue un événement important de l'histoire de la science. Cette analyse du mouvement circulaire par Descartes constitue un exploit remarquable non pas tant par les résultats qu'il a obtenus que par la méthode qu'il a utilisée qui consiste en ce processus de géométrisation du mouvement circulaire.

3.4. La géométrisation du mouvement circulaire

Il est d'ailleurs possible d'établir un parallèle entre la géométrie de Descartes et sa physique. Dans le *Discours de la méthode*, Descartes, en présentant la méthode qu'il entend utiliser afin de rechercher la vérité dans les sciences, y affirme qu'il faut commencer par les choses « les plus simples et les plus aisées à connaître[95] ». L'auteur du *Discours* avoue ne s'intéresser qu'aux rapports ou proportions qui peuvent exister dans les sciences dites mathématiques et il ajoute à ce propos : « [...] je pensai que, pour les considérer mieux en

---

[94] *Ibid.*, p. 133.
[95] A&T, VI, p. 18.

particulier, je les devais supposer en des lignes — la traduction latine, revue par Descartes, dit *lineis rectis* –, à cause que je ne trouvais rien de plus simple, ni que je pusse plus distinctement représenter à mon imagination et à mes sens[96] ». Ces natures simples qui sont à la base de la géométrie cartésienne sont les lignes droites, comme l'indique d'ailleurs la toute première phrase de *La géométrie* : « Tous les problèmes de la géométrie se peuvent facilement réduire à tels termes, qu'il n'est besoin par après que de connaître la longueur de quelques lignes droites pour les construire[97]. » Par la suite, il s'agira pour Descartes de comparer entre elles les longueurs de ces lignes droites en établissant des proportions et des rapports. Or, à ces natures simples de la géométrie semblent très bien correspondre les natures simples de la physique que sont les trajectoires rectilignes des parties de matière, proposées dans les deux premières lois de la nature. Descartes a relativement peu justifié ce choix de la ligne droite, si ce n'est par un recours à l'intuition. Emily Grosholz prétend qu'il y a une raison évidente à ce choix. Elle considère que la façon dont Descartes utilise les rapports et les proportions est issue d'une tradition médiévale[98] dans laquelle les termes utilisés dans ces opérations algébriques étaient des nombres. Or, Descartes, selon elle, a cherché les objets géométriques les plus proches des nombres pour établir les rapports et proportions, en l'occurrence les segments de lignes droites[99]. Quoi qu'il en soit de ces diverses explications, le point le plus important, nous semble-t-il, est de voir comment à partir de la ligne droite, comme point de départ, Descartes a pu faire le lien entre la géométrie et la physique. Nous pensons que, de ce point de vue, sa contribution à la construction de la science moderne est significative.

---

[96] *Ibid.*, p. 20.
[97] *Ibid.*, p. 369.
[98] voir à ce sujet E. Sylla, « Compounding Ratios », dans E. Mendelsohn, *Transformation and Tradition in the Sciences*, Cambridge, Cambridge Universiy Press, 1984, p. 11-43.
[99] E. Grosholz, *Cartesian Method and the Problem of Reduction*, Oxford, Oxford University Press, 1991, p. 20.

Le mérite d'avoir le premier considéré le mouvement circulaire comme une quantité géométrique et d'en avoir fait une représentation géométrique revient sans aucun doute à Galilée. En effet, dans le *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, Galilée cherche à réfuter les objections traditionnelles contre le mouvement diurne de la Terre. L'une de ces objections était que le tournoiement de la Terre expulserait les objets qui sont à sa surface. Pour réfuter cet argument, Galilée a proposé une démonstration géométrique qui s'appuie sur un schéma dont s'est certainement inspiré Descartes.

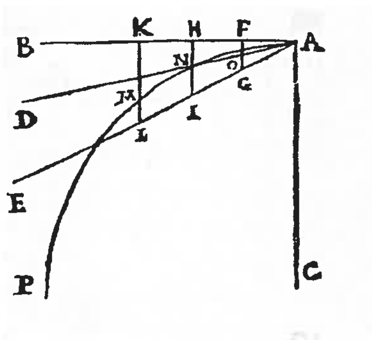


Fig. 5 — *Mouvement d'un objet à la surface de la Terre*

Source : Galileo Galilei, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde,* traduit par René Fréreux avec le concours de François De Gandt, Paris, Éditions du Seuil, 1992, p. 215

Sans entrer dans les détails, il est possible de résumer les explications de Galilée en affirmant que l'objet à la surface de la Terre qui tourne n'est pas éjecté parce qu'il est en équilibre sous l'effet de la pesanteur, qui le retient vers le bas et de l'élan (*impeto*) du tournoiement qui le pousse vers l'extérieur. Sa démonstration géométrique est fausse à cause d'une certaine confusion due au fait que certaines lignes du schéma représentent le temps alors que d'autres représentent la distance ou la vitesse.

Le cadre dans lequel est faite cette démonstration est nettement aristotélicien, puisque Galilée s'appuie sur le mouvement des corps lourds vers le bas. De plus, l'idée dominante, le but de cet exposé, est de montrer que l'objet à la surface de la Terre participe du mouvement naturel simple et circulaire de celle-ci. De son côté, Descartes poursuit un objectif différent qui est d'expliquer le mouvement circulaire à partir du mouvement rectiligne uniforme comme mouvement naturel simple. Tout comme Galilée, Descartes est conscient que le recours à la géométrie est un moyen indispensable pour arriver au résultat recherché. Cependant, à la différence du florentin, Descartes s'est efforcé d'appuyer le processus de géométrisation du mouvement sur des fondements métaphysiques qu'il voulait solides. Parmi ceux-ci, on doit mettre au premier rang l'identification d'un corps à son étendue ou à sa quantité, le principe de conservation de la quantité de mouvement et les deux premières lois de la nature qui en découlent. Or, ce que rendent possible ces principes, c'est de considérer le mouvement comme une quantité géométrique qui puisse être divisée en parties plus petites entre lesquelles il est possible d'établir des rapports et des proportions. De ce point de vue, l'analyse que fait Descartes du mouvement circulaire est un exemple éloquent de sa méthode. En premier lieu, on constate que dans les différentes représentations que fait Descartes du mouvement circulaire, il procède à une division de celui-ci en diverses parties et simultanément à ce processus, il représente par des lignes droites les parties correspondantes du *conatus* décrit dans ses deux premières lois de la nature et les parties du *conatus a centro* qui en découle. Par la suite, Descartes fait des comparaisons entre ces lignes droites, ce qui revient à établir des rapports et des proportions, afin d'évaluer la grandeur du *conatus a centro.* Le résultat auquel arrive Descartes dans son explication qualitative du mouvement circulaire est très proche de celui auquel arrivera Newton à partir d'un processus de géométrisation qui a sans doute été inspiré de celui de Descartes. On doit souligner, par ailleurs, que l'utilisation des deux premières lois de la nature par Descartes ne se limite pas à l'étude du mouvement circulaire. On retrouve ces lois à différents endroits dans sa physique. Nous nous limiterons à énumérer certaines de ces applications sans en faire une étude exhaustive.

4. L'utilisation des deux premières lois de la nature par Descartes

Au premier rang de ces autres applications, il faut mentionner le problème des collisions qui occupe une place importante dans la physique du XVII^e^ siècle. Descartes a certainement fixé le cadre général dans lequel ce problème a été considéré par les philosophes du XVII^e^ siècle. L'idée de base réside dans le fait que l'état naturel d'un corps est le mouvement rectiligne uniforme ou le repos. Les collisions sont des événements qui modifient cet état et permettent au corps de passer dans un autre état de même nature. Voilà pourquoi Descartes a proposé une troisième loi de la nature qui a pour but d'expliquer le fonctionnement de l'interaction entre deux corps lors d'une collision : « Si un corps qui se meut en rencontre un autre plus fort que soi, il ne perd rien de son mouvement, et s'il en rencontre un plus faible qu'il puisse mouvoir, il en perd autant qu'il lui en donne[100]. » On reconnaît dans la deuxième partie de cette loi le principe de conservation de la quantité de mouvement énoncé précédemment par Descartes. Par la suite, Descartes énonce sept règles, souvent appelées les lois du choc, qui visent à décrire les changements dans les mouvements des corps lors d'une collision. Ces lois ont fait l'objet de plusieurs commentaires depuis leur énoncé, puisque cinq des règles proposées par Descartes, de même que sa troisième loi de la nature sont fausses. Aux yeux de Westfall[101], cet échec apparent résulte d'un manque de fidélité à une approche qui au départ se voulait purement cinématique et à l'introduction de considérations dynamiques. Par ailleurs, l'omission de la nature vectorielle de la quantité de mouvement explique aussi en partie l'échec de Descartes. Quoi qu'il en soit, le point important que l'on doit retenir est que dans l'analyse des collisions, comme dans celle du mouvement circulaire, le mouvement rectiligne uniforme est la référence par rapport à laquelle tous les changements doivent être considérés. Dans le même ordre d'idée, on peut

---

[100] A&T, IX-2, p. 86.
[101] Westfall, *op. cit.*, p. 83.

aussi constater la présence de la loi de l'inertie dans l'explication que donne Descartes de la propagation de la lumière et des phénomènes de la réflexion et de la réfraction de la lumière. Pour cette explication qui ne vise pas à dire quelle est la nature de la lumière, mais plutôt à dire comment les rayons lumineux « peuvent être détournés par les divers corps qu'ils rencontrent[102] », Descartes utilise certaines analogies mécaniques qui reposent essentiellement sur le modèle des collisions et sur les lois du mouvement qui ont été exposées précédemment. Ainsi, au discours premier de *La dioptrique*, alors qu'il s'apprête à étudier la réflexion et la réfraction de la lumière, Descartes tient des propos très explicites en ce sens :

> Au reste, ces rayons doivent bien être ainsi toujours imaginés exactement droits, lorsqu'ils ne passent que par un seul corps transparent, qui est partout égal à soi-même : mais, lorsqu'ils rencontrent quelques autres corps, ils sont sujets à être détournés par eux, ou amortis, en même façon que l'est le mouvement d'une balle, ou d'une pierre jetée dans l'air, par ceux qu'elle rencontre. Car il est bien aisé à croire que l'action ou inclination à se mouvoir, que j'ai dit devoir être prise pour la lumière, doit suivre en ceci les mêmes lois que le mouvement[103].

Au Discours II, consacré à la réfraction, Descartes compare le comportement de la lumière avec le mouvement d'une balle lancée par une raquette. On peut concevoir que cette balle, dont l'auteur de *La dioptrique* ne considère ni la pesanteur, ni la grosseur, ni la figure, possède en vertu des deux premières lois de la nature un mouvement rectiligne uniforme tant qu'elle ne rencontre pas un obstacle. On peut citer à ce propos le commentaire de Pierre Costabel :

> Le mouvement uniforme que prend la balle et qui lui est explicitement reconnu n'est autre que le mouvement du point matériel isolé, le mouvement inertial. Il est donc aisé de situer le principe général d'où est parti Descartes, à savoir que si une "puissance naturelle" a un effet, cet effet reste toujours le même à moins qu'il n'y ait obstacle ou intervention d'autre chose. Et cela se traduit, dans le domaine des phénomènes mécaniques, par la loi d'inertie[104].

---

[102] A&T, VI, p.83.
[103] *Ibid.*, p. 88-89.
[104] Pierre Costabel, *Démarches originales de Descartes savant*, Paris, Vrin, 1982, p. 73.

Après avoir décrit dans les détails le mouvement de la balle lorsqu'elle pénètre dans un autre milieu, Descartes affirme que « l'action de la lumière suit en ceci les mêmes lois que le mouvement de cette balle[105] ». Dans cette perspective, Costabel formule l'hypothèse que Descartes a pris comme modèle la loi de l'inertie et les lois du choc pour décrire l'action de la lumière. Enfin, comme dernier exemple de l'utilisation des lois de la nature, mentionnons l'explication de la circulation du sang que donne Descartes dans le Traité de l'*Homme* :

> Mais ce qu'il faut ici principalement remarquer, c'est que toutes les plus vives, les plus fortes, et les plus subtiles parties de ce sang, se vont rendre dans les concavités du cerveau; d'autant que les artères qui les y portent sont celles qui viennent du cœur le plus en ligne droite de toutes, et que, comme vous savez, tous les corps qui se meuvent tendent chacun, autant qu'il est possible, à continuer leur mouvement en ligne droite[106].

Ces quelques exemples où apparaît clairement la loi de l'inertie dans la science de Descartes ne constituent pas une liste exhaustive. Tout au plus illustrent-ils l'ambition qu'a Descartes de se référer à ses deux premières lois de la nature dans l'explication des phénomènes qui sont du domaine de la mécanique, de la lumière et de l'optique, ainsi que du fonctionnement du corps humain.

5. Conclusion

Cette étude consacrée aux deux premières lois de la nature proposées par Descartes a permis de mettre en lumière, non pas sa physique en tant que telle, mais la naissance des concepts clé qui sont à la base de celle-ci. Ainsi, avons-nous pu constater le désir de Descartes, d'une part, d'assurer un fondement métaphysique à ces concepts et, d'autre part, de convaincre ses lecteurs qu'ils constituent un outil utile dans l'explication des

---

[105] A&T, VI, p. 100.
[106] *Ibid.*, p. 128.

phénomènes de la nature. Or, de ce point de vue, deux aspects importants de la physique cartésienne ressortent immédiatement : un aspect méthodologique d'abord, par lequel Descartes affirme vouloir donner à ses présentations la rigueur des mathématiques et un deuxième aspect qui découle du premier, par lequel Descartes s'assure de partir de principes de base solides, tout comme dans les démonstrations des géomètres, à partir desquels il puisse construire une physique qui explique tous les phénomènes qui nous entourent. Dès le départ, Descartes avoue ne s'intéresser qu'au mouvement local et affirme à plusieurs reprises s'inspirer du modèle des mathématiques et en particulier de celui de la géométrie pour la mise en œuvre de son projet. Or, si l'on veut rendre justice à Descartes, on doit souligner son effort en vue de fonder philosophiquement cette mathématisation de la physique. Cet effort s'est manifesté par l'affirmation d'une thèse importante de sa physique qui apparaît à l'article 23 de la deuxième partie des *Principes de la philosophie*. La première partie de cette thèse affirme que la matière dans l'univers peut être connue par cela seul quelle est étendue et que toutes les propriétés que nous percevons en elle se réduisent à ceci seul qu'elle est divisible en parties et mobile selon les parties. Or, affirmer que la matière est divisible, c'est penser géométriquement la matière. Dans la deuxième partie de sa thèse, Descartes affirme que c'est le mouvement qui permet de distinguer les parties de matière, assurant par le fait même un rôle important à celui-ci. Dans cette perspective, nous avons mis en lumière comment Descartes s'est efforcé de penser géométriquement le mouvement. En premier lieu, il a amorcé une réflexion sur la nature même du mouvement afin de lui donner un statut ontologique qu'il n'avait pas antérieurement; en second lieu, il a utilisé le concept de quantité, issu de la géométrie, pour décrire les mouvements, en troisième lieu, il a effectivement représenté et divisé les mouvements en diverses parties pour pouvoir établir entre celles-ci des rapports et des proportions. Ce processus de géométrisation revêt une importance particulière dans le cas du mouvement circulaire uniforme, qui dans la physique aristotélicienne n'avait ni commencement ni fin et qui n'était susceptible d'aucune division.

En ce qui concerne le deuxième aspect mentionné plus haut, on doit admettre que les deux premières lois de la nature constituent ces principes de base sur lesquels s'appuie toute sa physique. Pour justifier l'existence des deux premières lois de la nature, Descartes a eu recours, comme nous l'avons vu, à l'immuabilité de Dieu et à la constance de son action dans l'univers. À plusieurs reprises dans ses écrits, il affirme que ces lois ont été établies ou imposées par Dieu en la nature. Elles partagent ainsi, au même titre que les vérités mathématiques que Descartes qualifie elles aussi de lois en la nature, le statut de vérités éternelles créées par Dieu. Cependant, ce statut de lois qui devrait leur assurer un caractère d'universalité et d'observabilité n'est pas sans soulever certains problèmes de nature épistémologique. En premier lieu, on voit mal comment concilier la conception relative des mouvements que semble adopter Descartes et le caractère d'universalité que devraient revêtir ses deux premières lois de la nature, puisqu'un mouvement qui est perçu comme rectiligne et uniforme par un observateur peut être perçu différemment par un second observateur en mouvement relatif par rapport au premier. Un second problème réside dans le fait que ces lois de la nature, qui devraient décrire le comportement des corps dans la nature, ne sont jamais, de l'aveu même de Descartes, observées telles quelles dans la nature. Certes, le fait que l'univers cartésien soit plein apporte un élément de réponse, mais la difficulté de concevoir une loi de la nature sans qu'il soit possible de l'observer reste entière. Par ailleurs, si l'on ajoute à ces problèmes le fait que la plupart des règles du choc proposées par Descartes sont fausses, que son explication du mouvement circulaire reste incomplète, que sa théorie des tourbillons sera éventuellement remplacée par la théorie de la gravitation universelle de Newton, on est forcé d'admettre que la physique de Descartes demeure dans une large mesure inachevée. Cependant, la réflexion qu'il a amorcée sur la nature du mouvement et l'orientation nouvelle qu'il a donnée à l'étude des phénomènes de la nature en proposant ses deux premières lois de la nature sont des éléments qu'il est indispensable de connaître pour bien comprendre l'évolution de la science dans la deuxième moitié du XVII^{e} siècle. Newton et Leibniz seront des lecteurs attentifs de Descartes et s'en inspireront pour construire leur propre physique.

Chapitre II. — Newton et la première loi du mouvement

La loi de l'inertie, telle qu'exprimée par Descartes dans ses deux premières lois de la nature, allait voir son statut de loi fondamentale de la nature confirmé à travers les écrits des philosophes de la deuxième moitié du XVII^e siècle. Ainsi, Henry More, dans son livre, *An Antidote to Atheism*, publié en 1652, fait allusion à la loi de l'inertie qu'il qualifie de première loi du mouvement : « That prime Mechanicall law of motion persisting in a straight line[107] ». Hobbes, de son côté, donne sa propre formulation de cette loi dans le *De Corpore*, publié en 1655, et en présente une justification dont s'inspirera Leibniz. De même, la loi de l'inertie apparaît aussi dans le traité de Huygens « *De Motu Corporum ex Percussione* » dans lequel il démontre les lois du choc. Ce texte fut sans doute commencé vers 1652 et achevé vers 1656 et apparaît dans les *Opera posthuma* de Huygens publiées en 1703. Le traité est écrit suivant la méthode géométrique, avec l'utilisation d'axiomes ou hypothèses, de lemmes et de théorèmes ou propositions. Le traité débute par l'énoncé de la première hypothèse : « Un corps quelconque, une fois en mouvement, si rien ne s'oppose, continue de se mouvoir avec perpétuellement la même vitesse et selon une ligne droite[108]. » Ce premier axiome qui constitue vraisemblablement la première formulation claire du principe regroupe les deux premières lois de la nature de Descartes et les présente comme une seule loi. Le fait qu'elle apparaisse au tout premier rang des axiomes dans ce traité de même que dans l'*Horologium Oscillatorium*, publié en 1673, témoigne du fait que Huygens

---

[107] H. More, *An Antidote do Atheism*, p. 43, dans *A collection of several philosophical writings of Dr. Henry More*, Reproduction Num. BNF de l'éd. de London; Cambridge : W. Morden, 1662, Notice n°: FRBNF 37299180

[108] Christiaan Huygens, *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens*, publ. par la Société hollandaise des sciences, La Haye, M. Nijhoff, 1888-1950, T. XVI, p. 30.

lui reconnaît le statut de loi fondamentale du mouvement. À ces noms importants, il convient d'ajouter celui de Spinoza qui présenta une démonstration du principe d'inertie dans un livre publié en 1663 et consacré à la physique de Descartes, *Renati Des Cartes principiorum philosophiae pars I & II, more geometrico demonstratae.* Cette courte liste ne fait qu'illustrer le fait que le principe d'inertie occupe une place importante dans la philosophie de la nature de la deuxième moitié du XVII^e siècle. Par ailleurs, il faut admettre d'emblée que personne n'a su, mieux que Newton, accorder à cette loi de l'inertie une place aussi importante. Tant en ce qui concerne le statut qui lui est accordé que la fonction qui lui est dévolue, ainsi que l'utilisation qui en est faite, cette loi a acquis définitivement à partir de Newton le caractère de loi de la nature, caractère qu'elle conserve encore aujourd'hui. Nous soulignerons chacun de ces aspects et nous nous intéresserons à l'influence qu'a eue cette loi sur la conception de l'espace et du temps chez Newton. Les études consacrées à Newton sont nombreuses. Il n'est pas question d'en faire ici la synthèse, mais tout au plus de constater que ces études démontrent que sur certains points importants, la philosophie naturelle de Newton est en continuité avec les travaux de Descartes sur le mouvement, alors que sur d'autres points, elle s'en démarque totalement.

1. L'influence cartésienne

Dans son article, « Huygens and the problem of Cartesianism »[109], Westman utilise le terme « Cartesian syndrome » pour caractériser l'attitude qu'ont eue des auteurs comme Huygens, Henry More, Leibniz et Newton à l'égard de Descartes. Selon Westman, ces auteurs ont chacun à leur façon découvert Descartes et ont été au départ fascinés par la

---

[109] Robert S. Westman, « Huygens and the problem of Cartesianism », dans *Studies on Christian Huygens*, Ed. H. J. M. Bos, Lisse, Swets & Zeitlinger B. V., p. 83-103.

puissance et la cohérence du système cartésien. Cependant, après y avoir réfléchi plus longuement, tous ont constaté les faiblesses de ce système et ont tenté de le détruire pour en reconstruire un plus solide[110]. Or, une lecture attentive des premiers écrits de Newton (1664-1684)[111], ceux qui ont précédé la publication des *Philosophiae naturalis principia mathematica*, permet de constater que le terme « syndrome cartésien » convient sans doute plus à Newton qu'à tous les autres. Ces écrits préliminaires de Newton offrent la possibilité de suivre le cheminement de la pensée de leur auteur et permettent de cerner la genèse des concepts qu'il utilisera plus tard dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica.* L'influence de Descartes sur Newton se fait sentir sur plusieurs points importants qui sont étroitement reliés l'un à l'autre : les deux premières lois de la nature de Descartes que Newton adopte très tôt et qu'il modifiera par la suite pour en faire son premier axiome du mouvement dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica*, l'approche cartésienne des collisions et le concept de force qui y est relié d'où émergeront les concepts newtoniens de *vis inertiae* et de *vis impressa*, l'analyse cartésienne du mouvement circulaire et le projet de Descartes de déterminer l'expression du *conatus a centro* que Newton mènera à terme.

1.1. Les premières formulations du principe d'inertie

C'est dans le *Waste Book*, qui contient des notes personnelles et des brouillons écrits par Newton dès les premières années de sa réflexion en philosophie de la nature, que l'on retrouve les premières formulations de ce qui deviendra le principe d'inertie. Selon John Herivel, qui a fait une étude exhaustive du *Waste Book*, il est manifeste à la lecture de ces

[110] *Ibid.*, p. 99.

[111] Ces écrits sont constitués de feuillets qui contiennent des notes personnelles et des brouillons retrouvés dans les archives de Newton. Nous nous inspirerons des extraits de ces feuillets qui concernent la dynamique de Newton et qui ont été colligés par John Herivel dans *The Background to Newton's Principia*, Oxford, Clarendon Press, 1965. Voir aussi *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*, Ed. A. Rupert Hall and Marie Boas Hall, Cambridge, Cambridge University Press, 1962.

feuillets que Newton a commencé très tôt dans sa carrière une étude détaillée des *Principia philosophiae* de Descartes[112]. Le premier problème qui a sans doute suscité l'intérêt de Newton et qui lui a permis de prendre connaissance des deux premières lois de la nature de Descartes est le problème du choc de deux corps. Ce problème, qui a retenu l'attention de la très grande majorité des penseurs de la deuxième moitié du XVII^e^ siècle qui s'intéressaient à la philosophie de la nature, revêt une importance capitale dans le cas de Newton parce qu'il permet aussi de saisir l'origine du concept newtonien de la force. Herivel met en relief trois éléments qui ressortent de la façon dont Newton traite le problème des collisions dans le *Waste Book*[113]. En premier lieu, on peut mentionner le fait que Newton exprime la mesure de la quantité de mouvement d'un corps comme le produit de la grandeur de ce corps par sa vitesse. Sur ce point il ne fait que répéter la définition cartésienne de la quantité de mouvement, qu'il reprend d'ailleurs telle quelle dans la définition 2 des *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Le second élément est l'utilisation par Newton du principe de la conservation de la quantité de mouvement totale lors d'une collision qu'avait énoncée Descartes dans les *Principia Philosophiae*. Sur ce point, Newton améliore la présentation de Descartes, puisqu'il tient compte dans le calcul de la quantité de mouvement de la direction de propagation des objets. Le dernier élément que mentionne Herivel est le fait que les écrits de Newton révèlent une excellente compréhension du processus physique des collisions avec la distorsion momentanée des corps qui entrent en collision. Or, ce dernier point est précisément à l'origine de la première définition de la force que donne Newton dans ces feuillets : « *Force is the pressure or crowding of one body upon another*[114]. » Par la suite, Newton se serait vraisemblablement rendu compte

---

[112] John Herivel, *op. cit.*, p. 43.
[113] *Ibid.*, p. 45.
[114] I. Newton, MS. IIc Def. 9, cité dans *ibid.*, p. 138.

qu'une telle définition ne se prêtait pas à une mesure quantitative de la force et, par conséquent, n'aurait pu constituer une base solide sur laquelle une dynamique quantitative aurait pu être construite. Voilà pourquoi on trouve dans le *Waste Book* plusieurs axiomes qui équivalent à définir la force comme proportionnelle à la quantité de mouvement produite. Pour Herivel, il semble probable que cette définition fondamentale de la force soit étroitement liée au principe d'inertie, puisque l'énoncé de celui-ci précède immédiatement la description que donne Newton de la force. On trouve en effet, dans le *Waste Book*, un énoncé des deux premiers axiomes qui reproduit les deux premières lois de la nature de Descartes.

> (1) *If a quantity once move it will never rest unless hindered by some external cause.*
>
> (2) *A quantity will always move on in the same straight line (not changing the determination nor celerity of its motion) unless some external cause divert it*[115].

Herivel tente par la suite de retracer le cheminement de la pensée de Newton qui a conduit celui-ci à une définition quantitative du concept de force, concept qui est fondamental de toute la physique de Newton : « *From this enunciation it followed that any change in the state of rest or motion of a body was due to some external cause. If this external cause were identified with force then force would be that which produced change in a body's state of motion or rest. This is precisely the identification found later in the Waste Book where force is said to be the power of the cause which changes a body's motion*[116]. » À la suite de ces deux axiomes, Newton présente dans les deux propositions suivantes la force et son lien avec le changement de mouvement du corps :

> *(3) There is exactly required so much and noe more force to reduce a body to rest as as there was to put it upon motion : et e contra.*

---

[115] I. Newton, MS. IId, cité dans *ibid.*, p. 141.
[116] *Ibid.*, p 5-6.

(4) *Soe much force as is required to destroy any quantity of motion in a body, soe much is required to generate it; and soe much as is required to generate is soe much as alsoe required to destroy it*[117].

Brackenridge[118] considère que l'influence de Descartes, à travers son analyse des collisions, est ici prépondérante. Au cœur de cette analyse de Descartes se trouve l'affirmation que « pas plus d'action n'est requis pour produire un mouvement que pour l'arrêter[119] ». On observera que dans la formulation de ses propositions (3) et (4), Newton semble s'être inspiré du texte de Descartes. Il ne fait aucun doute que ces écrits de jeunesse de Newton permettent de voir les sources d'inspiration de leur auteur et, par la même occasion, de constater le rôle éminemment important du principe d'inertie dans la construction de sa dynamique. Bien que la formulation de Newton ne soit pas en tout point identique à celle de Descartes, plusieurs aspects de la présentation qu'il en fait laissent voir clairement l'influence de ce dernier, tant au point de vue du contenu que de la forme. Ainsi, on constate que Newton, tout comme le faisait Descartes dans les articles 37 et 39 de la deuxième partie des *Principes de la philosophie*, présente le principe en deux parties : une première partie dans laquelle est affirmée la conservation du mouvement d'un objet en l'absence d'une cause externe qui pourrait le modifier ; une deuxième partie dans laquelle il est précisé que le mouvement qui perdure en l'absence d'une cause externe est un mouvement rectiligne uniforme. Si on poursuit la comparaison, on constate que Descartes, à l'article 37, présentait la première partie du principe concernant la conservation du mouvement comme un cas particulier d'un principe plus général qui affirme que chaque chose continue d'être dans le même état tant que cet état n'est pas modifié par la rencontre

[117] I. Newton, MS. Iid, cité dans *ibid.*, p. 141.
[118] J. B. Brackenridge, *The Key ot Newton's Dynamics*, Berkeley and Los Angeles, University of California Press, 1995, p. 18.
[119] A&T, IX-2, p. 77.

d'autres choses. Descartes justifiait ce principe de conservation d'état, qu'il appelait la première loi de la nature, à partir de l'immuabilité de Dieu et à partir de la constance de son action dans l'univers. On ne retrouve rien de tel dans cette première formulation du principe d'inertie par Newton, qui n'utilise pas non plus le terme « état » pour caractériser le mouvement. Cependant, dans un extrait du feuillet suivant, MS. IIe, à l'axiome 100, Newton écrit : « *Every thing doth naturally persevere in that state in which it is unless it bee interrupted by some externall cause, hence axiome 1st and 2^d and [2 ?]. A body once moved will always keepe the same celerity, quantity and determination of its motion*[120]. » Pour Herivel, s'il subsistait un doute quant à l'influence de Descartes sur Newton en ce qui concerne le principe d'inertie, ce doute s'évanouit ici, puisque cet axiome est la reproduction fidèle de la première loi de la nature présentée par Descartes à l'article II, XXXVII, des *Principia Philosophiae* : « *Unamquamque rem, quatenus est simplex & indivisa, manere, quantum in se est, in eodem semper statu, nec unquam mutari nisi à causis externis*[121]. » De plus, Newton, en ajoutant l'expression « *hence Axiom 1st and 2 nd* », semble faire découler ces deux axiomes de la loi générale de conservation d'état qu'il vient d'exprimer et reproduit ainsi le raisonnement de Descartes à l'article 37 de la deuxième partie des *Principes de la philosophie* par lequel il déduisait du principe général de conservation d'état la première partie de son principe d'inertie[122]. Dans ce contexte, il

---

[120] I. Newton, MS Iie, cité dans J. Herivel, *op. cit.*, p. 143.
[121] A&T, VIII-I, p. 63.
[122] Même si Newton ne mentionne pas le nom de Descartes lorsqu'il formule ses axiomes 1 et 2, on peut présumer qu'il avait lu très tôt le texte de Descartes, puisqu'on a retrouvé dans sa bibliothèque un exemplaire des *Principia Philosophiae* de Descartes. Cette présomption s'appuie sur certainses notes écrites par Newton dans un petit cahier qui date de ses années d'étude au Trinity College. Parmi ces commentaires qui témoignent, dès cette époque, de l'intérêt de Newton pour la question du mouvement, on retrouve, sans commentaires, la définition que donne Descartes du mouvement : « *Cartes defines motion 2^nd parte Pr PR to be the Transplantation of one part or one body from the vicinity of those bodys which immediately touch it and seem to rest, to the vicinity of others* ». Cette note qui date vraisemblablement de la fin de 1664 est citée par Herivel p. 125. Cette définition, ainsi que plusieurs des articles des *Principia philosophiae* de Descartes, sont discutés et commentés à fond par Newton dans le *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*, un texte non publié du vivant de Newton, qui a été écrit probablement de 1664 à 1668.

est permis de conclure que l'influence de Descartes sur Newton, en ce qui concerne l'origine du principe d'inertie dans la philosophie naturelle de Newton, est plus que probable. Par ailleurs, on doit aussi constater que ce principe a été l'objet chez Newton d'une réflexion approfondie de telle sorte qu'il se l'est approprié graduellement et lui a donné une coloration toute personnelle pour en faire éventuellement l'élément le plus important de sa dynamique.

1.2. La notion de *vis inertiae*

À cet égard, il est intéressant de jeter un coup d'œil sur les différentes formulations du principe qui apparaissent dans les manuscrits de Newton et qui laissent voir l'évolution du principe vers la forme définitive qu'il prendra dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Ainsi, près de vingt ans après avoir présenté les premières versions du principe d'inertie, Newton introduit dans différents manuscrits qui portent sur le mouvement plusieurs formulations du principe dans lesquelles apparaît une notion nouvelle, soit celle de *vis insita.* Considérons d'abord la première version du *De motu* où le principe est présenté comme une hypothèse : « *Corpus omne sola vi insita uniformiter secundum rectam lineam in infinitum progredi nisi aliquid extrinsecus impediat*[123]. » Dans le même texte, Newton définit la *vis insita* comme la force ou la puissance en vertu de laquelle un corps maintient son état de mouvement rectiligne : « *Et vim corporis seu corpori insitam* [*appello*] *qua id conatur perseverare in motu suo secundum lineam rectam*[124]. » Cette *vis insita* représente pour Herivel un vestige de la croyance médiévale en la nécessité d'une force interne ou d'un *impetus* pour maintenir un état de mouvement

[123] I. Newton, MS. IXa, Hyp. 2., cité dans J. Herivel, *op. cit.*, p. 30.
[124] I, Newton, *De motu*, cité dans *ibid.*, p. 157.

uniforme. Par la suite, dans un manuscrit subséquent, qui précède le *De Motu Corporum Liber primus* de 1684, des modifications apparaissent dans la formulation du principe et parallèlement à celle-ci, il est possible d'observer un début de transition dans le rôle qu'assigne Newton à la *vis insita*, qu'il appelle en d'autres occasions « *vis inertiae* » ou « *inertia* ». Le principe est décrit alors de la façon suivante : « *Vi insita corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in linea recta nisi quatenus viribus impressis cogitur statum illum mutare*[125]. » Quoique cette formulation ressemble à la précédente, on observe un glissement sensible du point d'équilibre de la cause (*vis insita*) vers l'effet qu'est le mouvement rectiligne uniforme. En effet, là où dans la première formulation, Newton insistait sur la présence nécessaire de la *vis insita* – « Par la seule force innée [...] » – pour maintenir un mouvement rectiligne uniforme, dans cette dernière formulation le terme « *sola* » a disparu et pour la première fois dans les écrits de Newton apparaît l'état de repos au même plan que l'état de mouvement rectiligne uniforme. On observe aussi que Newton utilise le verbe « *perseverare* » plutôt que le verbe « *pergere* » pour décrire l'idée de persistance de l'état de mouvement ou de repos. Bien que les deux verbes aient des significations équivalentes, *perseverare* est sans doute plus pertinent, puisque c'est le mot qu'utilisait Descartes dans sa première loi de la nature de même qu'à l'article II, XLIII, des *Principia Philosophiae*. Dans le même document, on trouve une définition de la *vis insita* qui a elle aussi subi des changements par rapport à la précédente : « *Corporis vis insita innata et essentialis est potentia qua id perseverat in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in linea recta, estque corporis quantitati proportionalis, exercetur vero proportionaliter mutationem status et quatenus dici potest*

---

[125] I. Newton, MS. Xa, Lex. I, dans *ibid.*, p. 30.

corporis vis exercita [...] [126] ». Tout en faisant jouer à la *vis insita* le même rôle que dans la définition précédente, Newton ajoute comme élément nouveau que la *vis insita* est proportionnelle à la quantité du corps, suivant ainsi l'exemple de Descartes qui affirmait à l'article II, XLIII des *Principia philosophiae* que la force pour agir sur un autre corps ou pour résister à l'action d'un autre corps est proportionnelle à la grandeur du corps. Dans une version subséquente du même texte, Newton affirme que la *vis insita* est exercée seulement (*solummodo*) lors des changements d'état de mouvement du corps. Elle est alors associée à une force de résistance à un tel changement d'état de mouvement et est présente seulement lorsqu'une force extérieure est appliquée au corps en question. En limitant la présence de cette *vis insita* lors des changements d'état, Newton en réduit considérablement la portée et le rôle. Cette force innée ne saurait plus avoir le sens qu'elle avait au départ, soit celui de la force requise pour maintenir l'état de mouvement rectiligne uniforme. Dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Newton présente la version finale de cette définition de la *vis insita* en y ajoutant certains éléments significatifs :

Def. III

> *Materiae vis insita est potentia resistendi, qua corpus unumquodque; quantum in se est, perseverat in statu suo vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum.*
>
> *Haec semper proportionalis est suo corpori, neque differt quicquam ab inertia Massae, nisi in modo concipiendi. Per inertiam materiae fit ut corpus omne de statu suo vel quiescendi vel movendi difficulter deturbetur. Unde etiam vis insita nomine significantissimo vis inertiae dici possit. Exercet vero corpus hanc vim solummodo in mutatione status sui per vim aliam in se impressam facta, estque exercitium ejus sub diverso respectu et Resistentia et Impetus : Resistentia quatenus corpus ad conservandum statum suum reluctatur vi impressae; Impetus quatenus corpus idem, vi resistentis obstaculi difficulter cedendo, conatur statum ejus mutare* [...] [127]

---

[126] I. Newton, MS. Xa, Def. 12, dans *ibid.*, p. 27.

[127] Isaac Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Londres, S. Pepys, 1686, p. 2. « Définition III. *La force inhérente de la matière est le pouvoir de résister, par lequel tout corps, de par sa nature, persévère dans son état soit de repos, soit de mouvement rectiligne uniforme.* Cette force est proportionnelle au corps et ne diffère de l'inertie de la masse que par la façon de la concevoir. À cause de l'inertie de la matière il arrive que tout corps est difficilement délogé de son état, soit de repos, soit de mouvement. C'est

Cette définition reprend autant dans la forme que dans le contenu l'essentiel de l'article XLIII, de la deuxième partie des *Principia Philosophiae* de Descartes. Cependant, Newton y ajoute un élément important, soit le concept de force d'inertie. La notion d'inertie n'a plus le sens de résistance au mouvement qu'elle avait chez Kepler, mais plutôt celui de résistance à un changement d'état de mouvement. C'est probablement à partir de cette définition de la force d'inertie que l'on a plus tard donné le nom de principe d'inertie à la persistance de l'état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme en l'absence d'une force extérieure. Paradoxalement, on doit admettre que cette force ne joue aucun rôle explicite dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica* ou même dans la physique de Newton. Pour Herivel, elle a le statut d'une sorte de force potentielle qui n'a aucun effet tant qu'une force extérieure n'est pas présente[128] ; Gabbey, de son côté, y décèle une élément de nécessité métaphysique ou même psychologique utile pour justifier la persistance du mouvement en l'absence de force extérieure et ajoute que dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica* elle ne conserve qu'une fonction heuristique[129]. Ainsi, cette fonction est présentée de façon implicite dans la définition IV où Newton présente la « *vis impressa* ». Celle-ci est définie comme l'action ou la force appliquée sur un corps pour changer son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme. Par la suite, ajoute Newton, le corps ne persévère dans son nouvel état que par sa force d'inertie. Nous verrons un peu plus loin une illustration de cette fonction heuristique dans la démonstration que donne Newton de la deuxième loi de Kepler. À la suite de ces

---

pourquoi, on peut aussi donner à la force inhérente le nom le plus significatif de force d'inertie. En réalité, un corps exerce cette force seulement lorsque son état est changé par une autre force qu'on lui imprime; et il l'exerce sous différents aspects, soit de celui de Résistance et celui d'*Impetus* : Résistance en autant que le corps, afin de conserver son état, résiste à la force qui lui est imprimée; *Impetus* en autant que ce même corps, en cédant difficilement à la force de résistance d'un obstacle, a tendance à changer l'état de cet obstacle. »

[128] John Herivel, *op. cit.*, p. 28.

[129] Alan Gabbey, *loc. cit.*, p. 296.

définitions qui apparaissent au début des *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Newton présente le principe d'inertie sous sa forme canonique où il n'est fait aucune mention de la force d'inertie : « *Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum suum mutare*[130]. » Cette loi a le statut de *Lex Prima* dans les *Principia naturalis philosophiae mathematica* de Newton et fait partie de ce que Newton désigne sous le nom de « *Axiomata sive Leges Motus* » qui constituent, selon Cohen[131], une transformation consciente ou inconsciente des « *Regulae quaedam sive Leges Naturae* » de Descartes, de la même façon que le titre du texte de Newton est lui aussi une transformation du titre utilisé par Descartes pour son manuel de philosophie, *Principia Philosophiae*. Ces rapprochements sont significatifs. Avec les autres éléments que nous avons mentionnés précédemment, ils ajoutent plus de poids à la thèse suivant laquelle il faut chercher chez Descartes l'origine de la première loi du mouvement de Newton[132]. Par ailleurs, il ne faudrait pas simplifier à outrance l'émergence d'un concept comme celui du principe d'inertie dans l'oeuvre de Newton. Ce principe, dans le texte des *Principia*, fait partie d'un ensemble de définitions, d'axiomes, de propositions et joue un rôle différent de celui qu'il jouait dans la physique de

[130] Isaac Newton, *op. cit.*, p. 12.
[131] I. Bernard Cohen, *The Newtonian Revolution*, Cambridge, Cambridge University Press, 1980, p. 183.
[132] Dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Newton affirme s'être inspiré de Galilée pour ses deux premières lois du mouvement. L'absence de toute mention du nom de Descartes dans ce texte s'explique, selon la plupart des commentateurs, par la profonde antipathie que Newton avait à l'égard de Descartes. Par ailleurs, Newton affirme, sur un fragment écrit alors qu'il préparait les *Philosophiae naturalis principia mathematica*, que les Anciens connaissaient la première loi. Il mentionne en particulier les noms de Lucrèce et d'Aristote, dont il cite certains passages à l'appui de son assertion. Le fait qu'il n'ait pas incorporé ce texte dans l'édition finale des *Philosophiae naturalis principia mathematica* indique qu'il n'a pas finalement accordé une importance considérable à ces considérations historiques. (Voir à ce sujet *Unpublished scientific papers of Isaac Newton*, ed. Par A. Rupert Hall and Marie Boas Hall, Cambridge University Press, Cambridge, 1962, p. 309-311.) D'autre part, dans une lettre adressée à Cotes peu de temps avant la publication de la deuxième édition des *Philosophiae naturalis principia mathematica, en 1713,* Newton affirme « *the first Principles or Axiomes which I call the laws of motion* [...] *are deduced form Phaenomina & made general by Induction : which is the highest evidence that a Proposition can have in this philosophy* ». Cohen ajoute à propos de cette affirmation de Newton : « *Although this statement has often been repeated to show that Newton founded the Principia on induction, it hardly squares the facts. The first law of motion had not been 'deduced from Phaenomena', nor learned by induction ; Newton found it in Descartes's Principia.* » I. Bernard Cohen (1980), p. 187-188.

Descartes. Il convient d'approfondir ce dernier aspect, ainsi que la façon dont sera utilisé le principe par Newton, afin de faire ressortir la contribution personnelle de Newton dans l'émergence du principe d'inertie comme principe fondateur de la physique classique.

En effet, si les similitudes entre la formulation cartésienne du principe et la formulation finale qu'en donne Newton sont manifestes, il faut observer certaines différences fondamentales. À ce propos, Gabbey affirme que Newton a non seulement regroupé les deux lois de la nature de Descartes pour en faire une seule loi, mais qu'il a aussi modifié le cadre conceptuel dans lequel cette loi s'insère[133]. Le commentateur ajoute que lorsque Descartes, dans la première loi de la nature, affirme qu'un corps en mouvement, *quantum in se est,* persévère dans le même état, l'importance semble être mise sur le fait de persévérer dans l'état de mouvement par opposition à l'*état de repos*, et non par opposition à un autre état de mouvement. L'opposition entre le mouvement et le repos, qui était un élément de la physique médiévale, contribuerait, selon Gabbey, à expliquer la première loi de la nature de Descartes. Gabbey rappelle, que Descartes, dans la formulation de la première loi, à l'article 37, ne mentionne pas l'uniformité du mouvement qui perdure en l'absence d'une cause externe. C'est à l'article 43 de la deuxième partie des *Principes de la philosophie* qu'il mentionne explicitement l'uniformité du mouvement. Mais à ce moment, Descartes affirme d'abord que la force de chaque corps pour agir sur un autre ou pour résister à l'action d'un autre demeure constante en vertu de la première loi ; or, puisque la force est ontologiquement antérieure à la vitesse, il s'ensuit que la vitesse demeure constante. Gabbey en conclut que l'état de mouvement que mentionne Descartes dans la première loi n'est pas exclusivement un état de mouvement uniforme, mais plutôt un état de

---

[133] Alan Gabbey, *loc. cit.*, p. 293.

mouvement par opposition à un état de repos. Dans cette perspective, la première loi du mouvement de Newton, telle qu'exprimée dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica* et dans les textes qui les précèdent de peu, laisse voir une évolution vers une plus grande précision du concept d'état, une réduction de l'amplitude en quelque sorte. Il n'y existe plus aucune trace d'une opposition entre le mouvement et le repos ; l'état de mouvement qui y est décrit est celui d'un mouvement rectiligne uniforme et ce mouvement est présenté comme ontologiquement équivalent au repos. La première loi du mouvement de Newton constitue ainsi plus que l'unification des deux premières lois de la nature de Descartes. En effet, dans la mesure où le concept d'état sur lequel ces lois s'appuient a changé, on peut affirmer que le principe d'inertie que formule Newton, tout en étant inspiré de Descartes, prend une forme différente.

Gabbey poursuit la comparaison entre Descartes et Newton en ajoutant que les deux premières lois de la nature de Descartes n'ont pas la même fonction que la première loi du mouvement de Newton. Le commentateur décrit ainsi la double fonction de la première loi de Descartes : « *to provide the grounds for saying that for a body at rest, or in motion, there is : (a) a constant force maintaining it in that state ; and therefore (b) a force (the same force in the case of motion, though not in the case of rest) causing the body to resist and act on other bodies*[134] ». Cette dernière force qui est présente lors d'interactions entre les corps fournit en quelque sorte une explication causale pour les changements d'état de mouvement des corps. Dans les *Principia naturalis philosophiae mathematica* de Newton, cette fonction n'apparaît pas dans la première loi, qui constitue le principe d'inertie, mais à été relayée à ses deuxième et troisième lois du mouvement. En ce qui concerne la seconde

---

[134] *Ibid.*, p. 294.

loi de la nature de Descartes, on observe là aussi un glissement semblable. Selon Gabbey, si l'on considère l'explication du mouvement circulaire que donne Descartes dans les *Principia philosophiae*, on constate que la tendance qu'a un corps à se maintenir en un mouvement rectiligne uniforme explique deux faits expérimentaux importants : en premier lieu, elle explique le fait qu'une pierre en mouvement circulaire à l'extrémité d'une fronde aura, si elle est lâchée en un point de sa trajectoire, un mouvement rectiligne uniforme ; en second lieu, cette seconde loi de la nature explique aussi la présence de la tension dans la corde, que l'on observe lorsque l'objet est en mouvement circulaire. En effet, selon l'explication cartésienne, le *conatus a centro*, cette tendance qu'a l'objet à s'éloigner du centre du cercle lorsqu'il est en mouvement circulaire, tendance qui découle directement de la deuxième loi, rend nécessaire la présence d'une tension dans la corde pour le maintien du mouvement circulaire. Or, chez Newton, le mouvement rectiligne uniforme décrit dans sa première loi du mouvement n'a plus cette fonction explicative des phénomènes physiques, mais sert en quelque sorte de norme par rapport à laquelle des mouvements divers seront comparés et expliqués par la suite par les deux autres lois du mouvement. Ainsi, le mouvement circulaire, tel qu'il est expliqué dans les écrits de la maturité, ne sera plus envisagé de l'intérieur, mais plutôt à partir de la force extérieure requise, que Newton appelle alors la force centripète, pour produire un mouvement qui n'est pas rectiligne et uniforme. Cependant, cette description achevée du mouvement circulaire et la détermination de l'expression mathématique de la force centripète nécessiteront une certaine maturation, une réflexion qui s'échelonne sur plusieurs années et dont les écrits de jeunesse de Newton constituent un témoignage fidèle. L'importance de la résolution du problème du mouvement circulaire est primordiale, car elle permettra à Newton de développer les outils nécessaires pour résoudre des problèmes plus complexes, comme le mouvement elliptique des planètes. En outre, son approche du mouvement circulaire constitue elle aussi une illustration éloquente de l'utilisation des concepts nouveaux qu'il propose à travers ses trois lois du mouvement. Dans cette perspective, il convient de considérer brièvement les étapes importantes qui ont amené Newton à la solution du problème du mouvement circulaire ; il sera ainsi possible de constater que l'influence de Descartes y est encore là considérable et que le principe d'inertie y joue un rôle prépondérant.

2. L'analyse newtonienne du mouvement circulaire

La découverte par Newton de la loi de la force centrifuge représente un moment important de l'histoire de la science. Cette loi constitue un élément indispensable pour la démonstration qu'il fera de la loi de la gravitation universelle. De plus, elle constitue aussi le point de départ de l'étude fructueuse qu'il fera du mouvement des corps sous l'influence d'une force centrale. Newton s'est intéressé au problème du mouvement circulaire pendant plusieurs années, puisqu'on trouve dans ses archives deux démonstrations qui découlent d'approches différentes. Nous nous contenterons de résumer les points saillants de chacune de ces approches et nous considérerons les améliorations d'ordre conceptuel qu'y apportera Newton à la suite de ses échanges avec Hooke.

2.1. Le modèle polygonal

La première démonstration date de 1664 ou 1665 et apparaît dans le *Waste Book*. Newton considère le mouvement d'une sphère dans un mouvement circulaire et cherche, suivant en cela l'exemple de Descartes, à déterminer la force qui pousse la balle à s'éloigner du centre du cercle (*force by which it* [*the ball*] *endeavors from the center*).

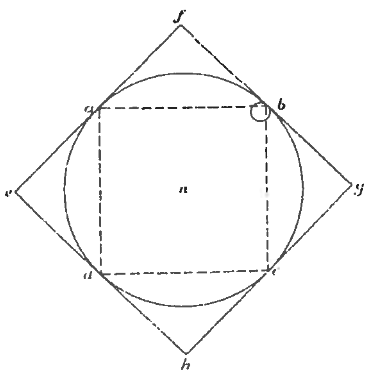


Fig. 6 — *Modèle polygonal du mouvement circulaire*

Source : John Herivel, *op. cit.*, p. 130.

Dans un premier temps, la sphère se déplace en mouvement rectiligne à vitesse constante suivant les lignes d'un carré inscrit dans un cercle et subit des réflexions aux points a,b,c et d.

La sphère, lors de ses collisions avec le cercle, subit une force ou pression dirigée vers le centre du cercle qui la fait changer de direction. La grandeur de cette force, exercée sur la sphère, qui sera égale à la force qui pousse la sphère à s'éloigner du centre du cercle, est déterminée à partir des changements de quantité de mouvement (ces changements sont essentiellement des changements de direction) lors des collisions. Il est implicite dans cette analyse que la force exercée par la sphère sur le cercle, la force centrifuge, est égale à la force exercée par le cercle sur la sphère. Dans les *Principia naturalis philosophiae mathematica,* Newton reprendra cette démonstration et rendra ce fait explicite en utilisant sa troisième loi du mouvement, la loi d'action réaction. Par la suite, poursuivant sur cette voie, Newton imagine un procédé semblable où une sphère se déplace suivant les côtés d'un polygone de 6, 8, 12, 100, 1000 côtés, etc. inscrit dans le même cercle et est réfléchie à chacune des intersections du polygone avec le cercle. Dans une dernière étape, l'auteur des *Principia naturalis philosophiae mathematica* passe du polygone au cercle en augmentant à la limite jusqu'à l'infini le nombre de côtés et présente la conclusion de sa démonstration sous la forme suivante : « *And so if the body were reflected by the sides of an equilateral circumscribed polygon of an infinite number of sides (i.e. the circle itself) [then] the force of all the reflections is to the force of the body's motion as all those sides (i.e., by the perimeter) to the radius*[135]. » Cette conclusion ne représente pas l'énoncé explicite de l'expression pour la force centrifuge, mais il est possible de montrer qu'elle en est exactement l'équivalent[136]. Pour ce faire, des transpositions mineures s'imposent, car étant donné que la dynamique de Newton est en voie de construction, les termes utilisés n'ont pas la même signification qu'ils auront plus tard. Ainsi, le mot « force » utilisé dans ce texte est associé au changement de la quantité de mouvement du corps, conformément à la vision qu'en avait Newton à cette époque, plutôt qu'au taux de changement de cette quantité, comme ce sera le cas plus tard. Dans cette perspective, le texte de la conclusion de Newton peut être interprété de la façon suivante : la force de toutes les réflexions est égale à F T, où F est la force centrifuge et T est la période de révolution de la sphère ; la force du mouvement est alors égale à mv, le produit de la masse par la vitesse de la sphère. Écrit sous forme symbolique le texte prend la forme suivante :

$$\frac{F\,T}{m\,v} = \frac{Circonf\acute{e}rence}{rayon} = \frac{2\pi\,r}{r}$$

En posant : $v = 2\,\pi\,r/T$

On obtient le résultat de l'expression pour la force centrifuge : $F = mv^2/r$

En dépit de ces petits ajustements, l'exploit n'en demeure pas moins remarquable et les techniques qu'il développe ici constitueront un point d'appui pour ses analyses ultérieures

[135] I. Newton, cité par Brackenridge dans J. Bruce Brackenridge, *op. cit.*, p. 53.
[136] Voir à ce sujet l'explication détaillée de la démonstration de Newton donnée par Brackenridge, *ibid.*, p. 42-54.

du mouvement. En observant attentivement cette analyse du jeune Newton, on constate qu'elle est imprégnée de certains éléments de la physique cartésienne. On y retrouve d'abord l'utilisation du mouvement inertial de la sphère entre les collisions ; en outre, l'utilisation par Newton de l'expression « *force by which the ball endeavors from the centre* » est analogue à celle que fait Descartes du *conatus a centro* dans son analyse du mouvement circulaire. À cela s'ajoute le modèle des collisions qu'utilise Newton pour décrire la force centrifuge. Pour Brackenridge[137], il n'est pas étonnant que le jeune Newton ait choisi le modèle des collisions dans son approche du mouvement circulaire, étant donné que la force produite par une collision constitue un point culminant de la dynamique cartésienne. De son côté, Herivel considère comme improbable que Newton n'ait pas remarqué l'explication brillante que Descartes donne du mouvement circulaire à partir de l'exemple du mouvement de la fronde[138]. Dans cette perspective, Herivel émet l'hypothèse que la démonstration que fait Newton de la force centrifuge a pu être inspirée de la discussion qu'en fait Descartes dans les *Principia philosophiae*. Quoi qu'il en soit, une telle assertion n'est pas appuyée par des preuves formelles et, par ailleurs, ne doit pas occulter le fait que la contribution de Descartes ne constituerait qu'un point de départ de l'analyse de Newton. Ce dernier, en effet, en posant la mesure de la force proportionnelle à la variation de la quantité de mouvement et en poussant son analyse géométrique beaucoup plus que ne l'avait fait son prédécesseur arrive à un résultat quantitatif pour la force centrifuge, ce que n'avait pas réussi Descartes. Cette analyse du mouvement circulaire qu'a réalisée très tôt Newton suffirait à elle seule à mettre en relief l'importance de ce problème dans la construction de sa physique. Mais il y a plus. En effet, quelques années après avoir

---

[137] *Ibid.*, p. 47.
[138] J. W. Herivel, « Newton's Discovery of the Law of Centrifugal Force », *Isis*, Volume 51, 4 (Dec., 1960), p.551.

complété cette démonstration, Newton s'est attaqué de nouveau au même problème en le considérant sous un angle différent. Il convient de s'intéresser à cette solution, ne serait-ce que pour y constater à la fois une certaine continuité avec l'approche précédente et l'apport de certaines innovations dont il saura faire un usage dans la suite de ses travaux.

2.2. Le modèle parabolique

Dans ce texte écrit avant 1669, Newton a produit une deuxième démonstration dans laquelle il arrive à l'expression explicite de la force centrifuge : $F = (m)\ v^2 / r$. Dans cette approche, Newton s'inspire au point de départ de l'analyse cartésienne du mouvement circulaire et utilise en plus, au cours de sa démonstration, des résultats obtenus par Galilée dans son analyse du mouvement parabolique.

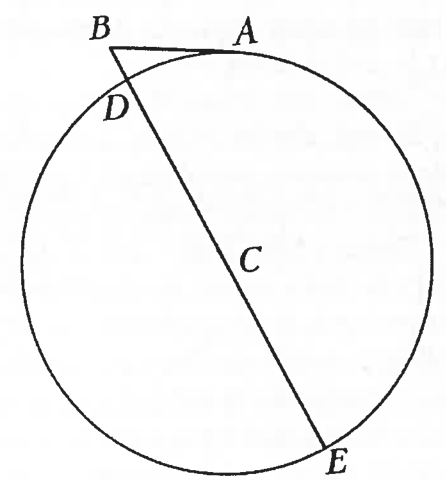


Fig. 7 — *Modèle parabolique du mouvement circulaire*

Source: John Herivel, *op. cit.*, p. 193.

Newton imagine qu'un objet, se déplaçant suivant un mouvement circulaire uniforme, quitte la trajectoire au point A et se déplace par la suite suivant un mouvement rectiligne uniforme pour arriver au point B après un certain temps.

Newton identifie alors la force centrifuge, « endeavor from centre », à celle qui aurait produit, dans le même temps que met l'objet à se rendre au point B, le déplacement radial

DB dans le prolongement du diamètre du cercle. Jusqu'à ce point, le scénario est dans les grandes lignes le même que celui imaginé par Descartes dans les *Principia philosophiae*. Par la suite, Newton fait preuve de beaucoup d'imagination et démontre sa maîtrise de la géométrie euclidienne ainsi que de la géométrie infinitésimale. En effet, dans l'étape suivante, il considère la même situation dans la limite où le point D se rapproche du point A. Dans cette limite, la force qui produit le déplacement DB est considérée comme constante en grandeur et en direction. Galilée, dans l'analyse qu'il a faite du mouvement parabolique d'un projectile, a démontré qu'une telle force est proportionnelle au déplacement de l'objet — qui correspond dans le cas présent à DB — et inversement proportionnelle au carré du temps requis pour un tel déplacement. En partant de ce résultat, le défi de Newton sera d'exprimer le déplacement DB et le temps t en termes des paramètres du mouvement circulaire, soit le rayon r et la vitesse v. Pour y arriver, il utilisera la propriété que le rayon du cercle balaie des angles égaux en des temps égaux, ainsi qu'une proposition peu connue tirée des *Éléments* d'Euclide. De cette façon, Newton arrive au résultat que la force centrifuge est proportionnelle au diamètre du cercle, ce qui est équivalent à $F = k\, v^2/ r$, le résultant obtenu par Huygens en 1659.

En conclusion, on peut affirmer en premier lieu que ces deux démonstrations de Newton pour obtenir l'expression de la force centrifuge puisent leurs racines dans la cinématique de Galilée et dans la dynamique des collisions de Descartes, mais en même temps, on constate que les démonstrations de Newton les dépassent par l'ampleur des techniques mathématiques utilisées, techniques qui laissent entrevoir l'intérêt qu'il porte déjà à ce qu'il appellera plus tard la « méthode analytique des fluxions[139] ». En second lieu, on peut facilement observer un dénominateur commun à travers l'approche du mouvement circulaire développée par Descartes, Huygens et Newton. En effet, tous les trois décrivent le mouvement circulaire à partir de deux composantes : d'une part, un mouvement rectiligne uniforme, qui découle du principe d'inertie et, d'autre part, une force déflectrice extérieure à l'objet, requise pour maintenir l'objet dans sa trajectoire circulaire. Il est aussi intéressant de remarquer que tous les trois conçoivent cette force déflectrice comme une force de contact, que ce soit à travers la corde au bout de laquelle l'objet est attaché ou le cercle à l'intérieur duquel l'objet est maintenu en rotation. Cette description que donne Newton du mouvement circulaire et l'expression mathématique de la force centrifuge ne constituent pas cependant un point final à l'interrogation qu'a suscitée ce problème depuis Aristote. La solution qu'apporte Newton ne saurait être complète sans les améliorations du point de vue conceptuel qu'il y apportera à la suite des échanges épistolaires qu'il a eus avec Robert Hooke en 1679. Non seulement Newton y améliorera sa description du concept de force, mais en outre ses discussions avec Hooke lui permettront de faire le lien entre ses résultats sur le mouvement circulaire et le mouvement des planètes, ce qui le conduira éventuellement à proposer sa loi de la gravitation universelle, qui demeure un sommet de la dynamique newtonienne.

[139] Guicciardini affirme que l'intérêt de Newton pour les mathématiques a commencé en 1664, alors qu'il lisait les travaux de François Viète (1646), la deuxième édition de *Geometria* (1659-1661) de René Descartes, la *Clavis mathematicae* (1631) de William Oughtred et l'*Arithmetica infinitorum* (1656) de John Wallis. C'est à travers ces lectures que Newton prit connaissance des découvertes les plus récentes dans les domaines de la géométrie analytique, de l'algèbre, des tangentes, des maxima et minima, des séries infinies et des produits infinis. Voir I. Guicciardini, *Reading the Principia. The Debate on Newton's Mathematical Methods for Natural Philosophy from 1687 to 1736,* Cambridge, Cambridge University Press, 1999, p. 17-18.

2.3. De la force centrifuge à la force centripète

Dans une lettre qu'il envoie à Newton en 1679, Hooke lui fait part d'une hypothèse pour expliquer le mouvement des planètes. Celui-ci serait composé d'un mouvement rectiligne suivant la tangente et d'un mouvement attractif vers le corps central. Dans une lettre subséquente, Hooke ira jusqu'à suggérer que la force d'attraction exercée par le corps central pour faire dévier la planète de sa trajectoire rectiligne est inversement proportionnelle au carré du rayon de la trajectoire circulaire. Newton démontrera plus tard avec une rigueur mathématique la validité de cette hypothèse, mais il niera avoir été influencé par Hooke. Indépendamment des réticences qu'a pu manifester Newton à admettre une quelconque influence de Hooke, on doit constater qu'à partir de 1679, des changements importants apparaissent dans ses écrits qui laissent voir une façon nouvelle d'envisager le mouvement circulaire. Ces changements essentiellement d'ordre conceptuel seront accompagnés de progrès majeurs d'ordre mathématique qui permettront à Newton d'expliquer à partir d'hypothèses simples les lois de Kepler et d'arriver ainsi à une description claire des phénomènes célestes. Rappelons d'abord que dans les écrits de jeunesse de Newton, dans les écrits de Huygens et dans ceux de Descartes, le mouvement circulaire d'un objet est produit par la présence d'une force extérieure, force dirigée vers le centre du cercle et exercée sur cet objet. En l'absence de cette force, l'objet se déplace tangentiellement au cercle selon un mouvement rectiligne uniforme. Or, les trois philosophes ont toujours orienté leurs efforts vers la détermination de la force centrifuge, ce *conatus a centro* qui pousse l'objet à s'éloigner du centre du cercle. Dans ces circonstances, il est inévitable qu'une certaine confusion soit présente dans la façon de concevoir le mouvement circulaire, — tout au moins chez le lecteur des propos de ces auteurs et peut-être aussi dans une certaine mesure dans l'esprit de ceux-ci — puisque l'objet dans un tel mouvement est alors considéré, au moins de façon implicite, comme étant en équilibre sous l'effet de deux forces égales et opposées, soit la force centrifuge dirigée vers l'extérieur du cercle et la force extérieure exercée sur l'objet et dirigée vers le centre du cercle. Il va sans dire qu'aucun des trois philosophes n'a présenté la situation sous une forme aussi explicite, car alors il y aurait une contradiction avec le principe d'inertie que chacun des trois a pris comme point de départ dans l'explication de ce phénomène. En effet, deux forces égales et opposées exercées sur le même objet devraient s'annuler et, dans ces circonstances, en vertu du principe d'inertie, l'objet devrait continuer suivant un mouvement rectiligne uniforme. On aura remarqué que Hooke, dans sa description du mouvement des planètes, évite de parler de la force centrifuge et réduit son explication aux deux seuls éléments qui sont, d'une part, le mouvement linéaire d'une planète et, d'autre part, une force d'attraction qui modifie constamment ce mouvement linéaire pour produire un mouvement circulaire ou elliptique. Or, Newton à partir de cette époque n'utilise plus l'expression de « force centrifuge », mais introduit à la place celle de « force centripète » : « *Vim centripetam appello qua corpus impellitur vel attrahitur versus aliquod punctum quod ut centrum spectatur*[140]. » Cette expression qui apparaît dans le tract *De Motu*, écrit en 1684, dénote plus qu'un changement de mots, elle constitue pour reprendre les mots de Wesfall[141], un changement fondamental dans la compréhension du mouvement circulaire. L'expression nouvelle amène avec elle un changement radical de perspective, car au lieu de considérer le mouvement circulaire de l'intérieur, comme le faisaient Descartes, Huygens et lui-même dans ses écrits de jeunesse, en parlant de l'objet et de la force centrifuge qui le pousse à « fuir le centre », la situation est maintenant observée de l'extérieur, en considérant la force extérieure à l'objet, cette force centripète qui « tend vers le centre » et empêche l'objet de

[140] I. Newton, cité par Herivel (1965), p. 257.
[141] Richard S. Westfall, *op. cit.*, p. 432.

se maintenir suivant un mouvement rectiligne uniforme. Ainsi, dans le tract *De Motu,* Newton, après avoir introduit cette nouvelle expression, reprend l'explication du mouvement circulaire, mais il ne parle plus cette fois du *conatus a centro*, terme qu'il utilisait dans les textes d'avant 1669, mais plutôt de ces forces centripètes qui ramènent continuellement les corps des tangentes à la circonférence vers le centre du cercle : « *Vires centripetae quae perpetuo retrahunt corpora de tangentibus ad circumferentias* [...][142] ». Dans le *De Motu*, Newton présente en ces termes l'expression mathématique pour la force centripète :« *Cor. I. Hinc vires centripetae sunt ut celeritatum quadrata applicata ad radios circulorum. Cor. II. Et reciproce ut quadrata temporum periodicorum applicata ad radios*[143]. » Si l'on compare cette formulation avec celle utilisée dans le texte antérieur, d'avant 1669, « 2. *Hinc in diversis circulis conatus a centris sunt ut diametri applicatae ad quadrata temporum revolutionis* [...][144] », on constate que le contenu mathématique est exactement le même, mais qu'un changement significatif est apparu, soit l'emploi du terme « *vires centripetae* » à la place de celui de « *conatus a centris* ». De fait, dans ce texte du *De Motu*, il y a plus qu'un changement de termes, ou même de concepts, il y a une façon nouvelle d'envisager le mouvement circulaire dans laquelle ont disparu tous les vestiges d'un possible équilibre entre des forces opposées. Cette nouvelle approche n'est certainement pas étrangère à l'exploit qu'accomplit Newton dans le *De Motu*, soit la solution de ce qu'il est convenu d'appeler le problème de Kepler.

---

[142] I. Newton, *De Motu,* cité par Herivel (1965), p. 259.
[143] *Ibid.*, p. 259.
[144] *Ibid.*, p. 194.

3. La solution du problème de Kepler

Dans un texte publié en 1609, *Astronomia Nova*, Kepler démontra que l'orbite de Mars peut être décrite par une ellipse. Il formula à propos de cette orbite ses deux premières lois : la première est que chaque planète décrit une ellipse dont le soleil occupe l'un des foyers; la seconde affirme que le segment de droite reliant le soleil et la planète balaie des aires égales en des temps égaux. Cependant, malgré cette percée spectaculaire dans la description du mouvement des planètes, Kepler s'est heurté à un problème qu'il n'a pu résoudre, soit celui de déterminer la nature de la force requise pour maintenir les planètes sur leurs orbites elliptiques. En dépit des efforts de plusieurs astronomes, on doit constater qu'à la fin du XVII^e^ siècle, aucun solution complète du problème de Kepler n'a été présentée. L'exploit d'avoir résolu ce problème doit être attribué à Newton. Brackenridge affirme à cet égard que la solution qu'apporte Newton au problème de Kepler constitue la clé de toute sa dynamique[145]. C'est dans ses écrits de jeunesse, alors qu'il travaillait sur la force centripète, qu'on peut situer l'origine de l'intérêt de Newton pour cette question, mais le moment décisif de sa découverte de la nature de la force qui maintient les planètes sur leurs orbites apparaît dans les textes d'après 1679, plus particulièrement dans le *De Motu* et dans un texte intitulé *A Demonstration that the Planets by their gravity towards the sun may move in Ellipses*, alors qu'il démontra que la force d'attraction exercée par le soleil sur les planètes varie comme l'inverse du carré de la distance entre la planète et le soleil.

Afin d'apprécier la contribution substantielle de Newton en ce domaine, il convient au départ de mettre en relief la différence entre l'approche de Kepler face au problème du mouvement des planètes et celle de Newton. La seconde loi de Kepler, la loi des aires,

---

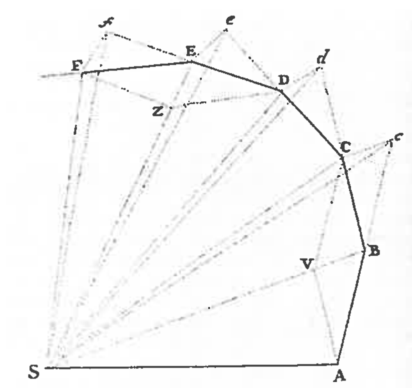
[145] J. Bruce Brackenridge, *op. cit.*, p. vii.

permettait à Kepler d'expliquer le fait qu'une planète se déplace avec une vitesse variable sur son orbite elliptique, cette vitesse étant minimale à l'aphélie et maximale au périhélie. Cette explication, doit-on souligner, était strictement d'ordre mathématique. Au plan des explications physiques, Kepler a tenté d'aller plus loin en formulant l'hypothèse qu'une force magnétique était exercée par le soleil sur les planètes pour les maintenir sur leurs orbites. Cependant, l'astronome allemand n'a jamais réussi à établir un lien mathématique entre, d'une part, cette force d'attraction et, d'autre part, les orbites elliptiques et la loi des aires. Il n'a pas non plus fourni de démonstration empirique de l'existence d'une telle force[146]. L'approche de Newton face au même problème allait être tout à fait différente. Plutôt que chercher quelle sorte de force agissait sur les planètes, Newton se demanda quelles propriétés mathématiques sont requises d'une force pour qu'elle produise la loi des aires. Ses réflexions, probablement aiguillonnées par les suggestions de Hooke, l'amenèrent à démontrer que pour un corps initialement animé d'un mouvement inertial, la loi des aires sur une orbite elliptique implique nécessairement l'existence d'une force centripète dirigée continuellement vers le point par rapport auquel ces aires sont calculées. Sans entrer dans tous les détails techniques de sa démonstration, considérons les étapes les plus importantes afin de bien saisir comment celle-ci s'appuie totalement sur le principe d'inertie. La première étape que l'on retrouve dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica* est la loi des aires qu'il présente comme le premier théorème de la section II consacrée à la détermination des forces centrales et dont il fournit une démonstration.[147] Ses explications sont faites à partir du schéma suivant.

---

[146] Voir I. Bernard Cohen (1980), p. 28.

[147]Déjà cette démonstration apparaissait dans ses écrits précédents : « *A Demonstration that the Planets by their gravity towards the sun may move in Ellipses* »>, cité dans Herivel (1965), p. 246) et dans le tract *De Motu* cité dans Herivel (1965), p. 258.



En premier lieu, Newton considère le mouvement rectiligne uniforme d'un corps se déplaçant suivant la ligne Abc, en l'absence de forces extérieures. Il démontre alors que par rapport à un point extérieur à cette ligne, le corps balaie des aires égales en des temps égaux.

Fig. 8 — *Composantes tangentielles et radiales d'un mouvement curviligne*

Source : Isaac Newton, diagramme accompagnant la proposition 1 dans les éditions révisées des *Philosophiae naturalis principia mathematica*, reproduit dans J. Bruce Brackenridge, *op. cit.*, p. 188.

Le commentaire de Cohen, pour qui cette introduction constitue en soi un événement important, fait très bien voir comment l'utilisation du principe d'inertie par Newton dans cette démonstration représente une innovation : « *What an extraordinary revelation ! For the first time it was seen that the law of inertia is intimately bound up with the law of areas*[148]. » Dans la suite de sa démonstration, Newton imagine qu'une impulsion, dirigée vers S, est communiquée à l'objet au point B et le fait dévier de sa trajectoire initiale Ac pour l'orienter suivant la ligne BC. Il prouve alors de façon géométrique que le rayon-vecteur balaie des aires égales en des temps égaux. Afin de déterminer la trajectoire BC, Newton utilise ce qu'on appelle la « règle du parallélogramme », qui est dans les faits une loi de composition de vitesses. Selon cette règle, le mouvement de l'objet après l'impact au point B est obtenu par la composition du mouvement inertial Bc, qui se serait produit en l'absence de cette force extérieure au point B, et d'un mouvement suivant Bv produit par la

[148]I. Bernard Cohen (1980), p. 251.

force extérieure dirigée vers S. Cette règle origine vraisemblablement du principe de la décomposition du mouvement d'un projectile qu'avait utilisé Galilée dans son explication de ce mouvement. Elle apparaît déjà dans les textes de Newton qui datent du début de 1665 et est présentée dans un contexte physique plutôt que mathématique. Elle est utilisée par ce dernier pour déterminer les tangentes à des courbes mécaniques « *Mechanicall lines* » et à des courbes géométriques « *Geometricall lines* ». Pour Cohen, cette façon qu'a Newton de résoudre des problèmes de géométrie en utilisant des principes physiques tels que le principe du mouvement rectiligne uniforme et la loi du parallélogramme suggère l'idée qu'il existe dans l'esprit de Newton un lien étroit entre la physique et les mathématiques. À la suite de cette première impulsion au point B, Newton imagine une série d'impulsions semblables toutes dirigées vers le point S et démontre que les aires, représentées par la série de triangles ABS, BCS, CDS, etc. sont égales. Enfin, dans une dernière étape, Newton conclut en affirmant qu'à la limite où le temps entre les impulsions devient très petit, ces triangles deviennent infinis en nombre et infiniment petits de telle sorte que la force centripète agit sans arrêt.

Ayant démontré dans ce premier théorème la loi des aires, Newton, dans le théorème suivant, démontre l'inverse, à savoir que tout corps qui se déplace suivant une courbe dans un plan et dont le rayon vecteur balaie des aires proportionnelles aux temps par rapport à un point qui est à l'origine du rayon vecteur est contraint à ce mouvement par une force centripète dirigée vers ce point. La loi des aires représente ainsi une condition nécessaire et suffisante pour la force centripète. Par la suite, prenant appui sur ces deux éléments, la loi des aires et la force centripète, Newton démontre que le mouvement elliptique des planètes est produit par la présence d'une force qui la fait dévier de son mouvement rectiligne uniforme et il prouve qu'une telle force varie comme l'inverse du carré de la distance. L'exploit de Newton ne réside pas tant dans le fait d'avoir découvert la loi de l'inverse du carré de la distance — d'autres avant lui, dont Hooke, en avaient proposé l'existence — que dans le fait d'avoir utilisé cette loi pour démontrer mathématiquement le mouvement elliptique des planètes et d'avoir perçu rapidement les perspectives qu'elle ouvrait pour l'explication de tous les phénomènes de la nature, du mouvement de tous les objets célestes jusqu'au mouvement d'un corps en chute libre.

4. Le statut du principe d'inertie dans la physique de Newton

Dans la section précédente, nous avons décrit certaines des utilisations du principe d'inertie par Newton. Cependant, un aspect tout aussi important à considérer est le statut que Newton lui octroie dans ses textes et plus particulièrement dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Dans cette perspective, nous tenterons de faire ressortir certains traits de ce statut tant du point de vue épistémologique que du point de vue ontologique et nous porterons une attention particulière à la façon dont Newton résout le problème que pose la relativité des mouvements eu égard au statut du principe d'inertie.

4.1. Le statut épistémologique du principe d'inertie chez Newton

Dans la préface de la première édition des *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Newton présente ainsi son projet de construire une mécanique rationnelle : « *Quo sensu Mechanica rationalis erit Scientia Motuum qui viribus quibuscunque resultant, & virium* *quae ad motus quoscunque requiruntur, accurate proposita ac demonstrata*[149]. » Les livres I et II seront consacrés à la recherche des forces à partir des mouvements observés et le livre III portera sur les mouvements de la nature qui sont déduits à partir de ces forces. Si le recours à l'induction pour déterminer les forces de la nature et la nécessité de vérifier la validité de celles-ci par l'observation et l'expérience constituent un aspect de cette méthode, l'utilisation de principes mathématiques et de démonstrations mathématiques rigoureuses en constitue un autre aspect tout aussi important. Or, ce recours constant aux mathématiques dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica* représente sans doute le caractère dominant de l'épistémologie newtonienne. Il l'est à un double point de vue, d'une part, par le cadre qu'il impose qui traduit la volonté de Newton de s'en tenir à la recherche des causes efficientes des mouvements, d'autre part, par le fait qu'il est accompagné d'un rejet des causes formelles et finales de ces mouvements, qui sont considérées appartenir au domaine de la métaphysique. Ainsi, à la définition VIII du livre I Newton présente la force centripète comme un concept mathématique. Il cite plusieurs exemples d'une telle force, dont celui de la force de la gravité, et il affirme qu'il ne juge pas pour l'instant les causes et les sièges physiques de ces forces, « *Nam virium causas & sedes physicas jam non expendo*[150] ». À la fin du texte qui accompagne cette même définition, Newton est encore plus explicite et adresse une mise en garde au lecteur afin qu'il ne se méprenne pas sur la nature de ses intentions :

> *Voces autem attractionis, impulsus vel propensionis cujuscunque in centrum, indifferenter et eo pro se mutuo promiscue usurpo, has vires non physice sed Mathematice tantum considerando. Unde caveat lector ne per hujusmodi voces cogitet me speciem vel modum actionis causamve aut rationem physicam alicubi*

---

[149] Isaac Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, praefatio ad lectorem, Londres, S. Pepys, 1687

[150] *Ibid.*, p. 4.

> *definire, vel centris (quae sunt puncta Mathematica) vires vere et physice tribuere*[151].

Dans ce passage qui précède immédiatement l'exposé des propositions mathématiques des livres I et II des *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Newton ne fait pas que rejeter la terminologie de la physique ancienne, il propose une orientation nouvelle pour la philosophie de la nature qui implique un changement épistémologique majeur par rapport à la façon de faire de ses prédécesseurs. En ce qui concerne par exemple la force de la gravité, il ne s'agit plus de chercher dans le corps grave la cause de la pesanteur ou dans le corps vers lequel ce corps grave est porté ou même dans une matière subtile qui serait présente dans le voisinage de ces corps, il s'agit plutôt de décrire par une expression mathématique l'interaction entre ces corps et de vérifier par la suite si les mouvements observés de différents corps peuvent être déduits à partir de cette expression mathématique. Dans les faits, les livres I et II des *Philosophiae naturalis principia mathematica* sont présentés par Newton comme un traité de mathématiques. Non seulement les concepts utilisés comme ceux de force ou d'attraction sont conçus comme des concepts mathématiques, mais en outre Newton y utilise le même type de présentation que celui des livres de géométrie avec les axiomes, les théorèmes et tout l'appareillage de lemmes et corollaires qu'on y retrouve habituellement. Les démonstrations proposées s'inspirent elles aussi des constructions géométriques et font parfois référence à des propositions précises tirées des traités d'Euclide. Pour dissiper tout doute à ce sujet, Newton affirme même à la section XI des *Philosophiae naturalis principia mathematica* qu'il utilise un langage

[151] *Ibid.*, p. 4-5-, « J'emploie ainsi indifféremment l'un pour l'autre les termes d'attraction, d'impulsion ou d'inclinaison vers un centre; il faut considérer ces forces d'un point de vue seulement mathématique et non pas physique. Par suite, lorsqu'il m'arrive de dire que des centres attirent ou que des forces y sont appliquées, que le lecteur se garde bien de penser que je définisse, en ces termes, la forme, le mode ou encore la cause ou raison physique d'une action que j'attribue à ces centres (qui sont des points mathématiques) des forces véritables et physiques. », traduit par Marie-Françoise Biarnais dans Isaac Newton, *De philosophiae naturalis principia mathematica*, traduction nouvelle, postface et bibliographie établies par Marie-Françoise Biarnais, Paris, Christian Bourgois éditeur, 1985, p. 29.

familier afin d'être compris plus facilement par les lecteurs mathématiciens[152]. Il n'est pas étonnant dans ce contexte que certains lecteurs contemporains de Newton n'aient pas perçu immédiatement le changement épistémologique qu'impliquait l'approche newtonienne et aient été plus impressionnés par les constructions mathématiques très rigoureuses qui apparaissent dans les deux premiers livres des *Philosophiae naturalis principia mathematica* que par les efforts déployés par leur auteur au livre III pour expliquer tous les mouvements de la nature à partir des propositions établies dans les parties précédentes. À titre d'exemple, on peut citer cet extrait d'une recension des *Philosophiae naturalis principia mathematica*, parue dans le *Journal des Sçavans* du 2 août 1688, où on fait écho au passage de la définition VIII, cité plus haut. L'auteur de la recension écrit :

> L'Ouvrage de Monsieur Newton est une Mécanique la plus parfaite qu'on puisse imaginer, n'estant pas possible de faire des démonstrations plus précises ni plus exactes que celles qu'Il donne dans les deux premiers livres sur la pesanteur, sur la légèreté, sur le ressort, sur la résistance des corps fluides, & sur les forces attractives & impulsives qui sont le principal fondement de la physique. Mais il faut avouër qu'on ne peut regarder ces démonstrations que comme mécaniques, puisque l'auteur reconnoit lui-même à la fin de la 4^e^ page, & au commencement de la 5^e^ qu'il n'a pas considéré leurs principes en Physiciens, mais en simple Geometre. Il avouë la mesme chose au commencement du 3^e^ livre où il tâche néanmoins d'expliquer le système du monde. Mais ce n'est que par des hypotheses qui sont la plupart arbitraires, & qui par consequent ne peuvent servir de fondement qu'à un traité de pure Mécanique [...] pour faire un ouvrage le plus parfait qu'il est possible, Mr. Newton n'a qu'à nous donner une Physique aussi exacte qu'est la Mécanique. Il l'aura donnée quand il aura substitué de vrais mouvements en la place de ceux qu'il a supposez[153].

Cohen commente cette critique en affirmant que l'auteur de la recension, tout en ayant bien compris les démonstrations mathématiques de Newton, ne semble pas avoir bien saisi la distinction que fait Newton dans ce passage de la définition VIII entre les constructions

---

[152] « *In Mathematicis enim jam versamur, & propterea missis disputationibus Physicis, familiari utimur sermone, quo possimus a Lectoribus Mathematicis facilius intelligi.* », Isaac Newton, *op. cit.*, p. 162.

[153] *Journal des Sçavans*, 2 Août 1688, p. 97.

mathématiques et l'application de celles-ci au système de la nature. On doit admettre qu'au siècle suivant, les commentateurs de Newton ont mieux perçu la teneur de son projet et ont adopté cette nouvelle épistémologie. Ainsi d'Alembert, dans son *Traité de dynamique* publié en 1743, se propose de déterminer le mouvement des corps qui agissent les uns sur les autres en utilisant un nombre restreint de principes ainsi que les outils mathématiques appropriés, incluant dans certains cas le calcul différentiel. Or, le premier des ces principes est la première loi du mouvement de Newton, que d'Alembert appelle principe de la force d'inertie. Par la suite, d'Alembert demande quelles sont les causes qui peuvent changer l'état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme d'un corps.

> Ces causes, répond d'Alembert, nous n'en connaissons que de deux sortes : les unes se manifestent à nous en même temps que l'effet qu'elles produisent, ou plutôt dont elles sont l'occasion; ce sont celles qui ont leur source dans l'action sensible & mutuelle des Corps, résultante de leur impénétrabilité : elles se réduisent à l'impulsion & à quelques autres actions dérivées de celle-là : toutes les autres causes ne se font connaître que par leur effet, & nous en ignorons entièrement la nature : telle est la cause qui fait tomber les Corps pesants vers le centre de la Terre, celle qui retient les Planètes dans leurs Orbites, etc[154].

Il n'est plus question ici de chercher les causes de la pesanteur comme le faisaient au siècle précédent Descartes, Huygens et d'autres — d'Alembert avoue même en ignorer totalement la nature —, il suffit de décrire ces causes par leurs effets, c'est-à-dire par les mouvements qu'elles engendrent. C'est à cette épistémologie qu'adhère Jean-Sylvain Bailly, dans son *Histoire de l'astronomie* publiée en 1785. Celui-ci reconnaît d'emblée à Newton le mérite d'avoir « créé la science qu'on a depuis nommée *dynamique*, c'est-à-dire, celle qui a pour objet les corps en mouvement; elle ne considère que la force manifestée par les effets, les espaces parcourus et les temps employés[155] ». Selon Bailly, Newton a réussi a dévoiler le mécanisme de l'univers, le mouvement périodique des planètes, en conjuguant le

[154] Jean d'Alembert, *Traité de dynamique*, Paris, Chez David l'aîné, 1743, p. X

[155] Jean-Sylvain Bailly, *Histoire de l'astronomie,* T. II, Paris, DeBure, 1785, p. 478.

mouvement rectiligne uniforme d'une planète et la force centrale d'attraction qui varie comme le carré de la distance. Bailly ajoute que cette découverte de Newton « n'est pas une conjecture heureuse, un aperçu philosophique, qui prouve l'étendue du coup d'œil et la justesse du tact, c'est une vérité saisie & démontrée; ce coup d'oeil et ce tact ont pu conduire le philosophe, mais le géomètre a assis cette vérité sur la certitude mathématique[156] ». Ces commentaires enthousiastes de Bailly sur les constructions géométriques de Newton permettent de constater qu'il avait une bonne compréhension du projet global de Newton. De plus, il est manifeste que Bailly a aussi très bien saisi le rapport entre ces constructions mathématiques et les phénomènes qui sont observés. Ainsi, Bailly s'interroge sur l'origine de cette force exercée sur les planètes et dirigée vers le soleil : « On pouvait se demander si cette force était dans le Soleil pour les attirer, ou dans les planètes mêmes, pour les pousser vers lui?[157] » Or, selon Bailly, la géométrie ne peut apporter de réponse à cette question. Newton posa cette force dans le Soleil et en examina les conséquences. Le commentateur ajoute : « Si ces conséquences sont les mêmes que les phénomènes observés, le fait supposé est une vérité[158]. » Les propos de Bailly laissent voir une meilleure compréhension du projet de Newton que ceux apparus dans le *Journal des sçavans*, peu après la parution des *Philosopiae naturalis principia mathematica*. En ce qui concerne le principe d'inertie, il est manifeste que pour Newton, d'Alembert et Bailly, il représente un élément important dans un traité essentiellement mathématique. Newton lui-même présente tous les concepts des livres I et II des *Philosopiae naturalis principia mathematica* comme des concepts mathématiques. Dans cette perspective, il est permis de considérer le principe d'inertie comme un concept purement mathématique. Newton ne le

[156] *Ibid.*, p. 479.
[157] *Ibid.*, p. 484..
[158] *Ibid.*, p. 485.

qualifie-t-il pas lui-même de premier axiome, utilisant ainsi la terminologie des traités traditionnels de géométrie. Il l'invoque fréquemment d'ailleurs dans l'articulation des diverses démonstrations de ces théorèmes en s'appuyant sur son caractère de vérité indiscutable. De plus, au début du livre III, Newton résume la perspective dans laquelle il faut envisager ces constructions mathématiques et leur rôle dans la philosophie de la nature : « *In the preceding books I have laid down the principles of philosophy; principles not philosophical but mathematical : such, namely, as we may build our reasonings upon in philosophical inquiries*[159]. » Ces principes mathématiques, parmi lesquels on doit inclure le principe d'inertie, constituent la base sur laquelle est fondée et peut se construire une philosophie de la nature. Cependant, ce statut de concept mathématique qu'il conviendrait d'accorder à la première loi du mouvement de Newton ne saurait être définitif, si nous ne considérions, ne serait-ce que brièvement, l'ontologie de la nature qui ressort des textes de Newton.

4.2. Le statut ontologique du principe d'inertie

L'ontologie cartésienne de la nature, nous l'avons mentionné, se résume à une matière étendue en longueur, largeur et profondeur, dont les parties ont des figures et des mouvements divers qui permettent d'expliquer tous les phénomènes que nous observons et les sensations qui nous habitent. De ces trois éléments que sont la figure, l'extension et le mouvement, Newton a plus ou moins mis de côté les deux premiers et a conservé le troisième. Cependant, le philosophe anglais a introduit une entité nouvelle qui vient modifier radicalement l'ontologie de la nature de Descartes, soit celle des forces d'attraction et de répulsion, qui sont présentées comme des propriétés de la matière. Le

[159] I. Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, 3ième édition, traduit par Andrew Motte en 1729, revisé par Florian Cajori, Berkeley, University of California Press, 1960, p. 397.

mouvement, chez Newton, continue à représenter le caractère essentiel de la réalité physique, mais c'est dans l'existence des forces d'attraction et de répulsion que réside l'explication des changements d'état observés dans la nature. De toutes ces forces, la force d'attraction gravitationnelle, cette action à distance entre deux corps, est celle qui a suscité le plus de controverses et de critiques de la part des contemporains de Newton. Or, la raison de toute cette opposition est relativement simple : dans la mesure où on n'arrive pas à préciser les causes de ces forces d'attraction et donc à les expliquer à partir des principes de la philosophie mécaniste, on est inévitablement amené à leur attribuer le statut de « qualités occultes » et à les associer à certaines idées de la philosophie scolastique de la nature. À cet égard, le reproche que fait Huygens à Newton dans son « Discours de la cause de la Pesanteur » est on ne peut plus explicite :

> Je ne suis pas d'accord d'un Principe qu'il [Monsieur Newton] suppose dans ce calcul et ailleurs; qui est, que toutes ces petites parties, qu'on peut imaginer dans deux ou plusieurs differents corps, s'attirent ou tendent à s'approcher mutuellement. Ce que je ne sçaurois admettre, par ce que je crois voir clairement, que la cause d'une telle attraction n'est point explicable par aucun principe de Mechanique, ni des regles du mouvement, comme je ne suis persuadé non plus de la necessité de l'attraction des corps entiers[160].

Dans sa lettre à Leibniz du 18 novembre 1690, Huygens fait allusion à ce passage en affirmant que le principe d'attraction de Newton lui paraît absurde[161]. Or, Leibniz à l'instar de Huygens et de plusieurs autres, s'est lui aussi fermement opposé aux forces d'attraction de Newton, parce qu'elles représentaient un retour aux qualités occultes de la philosophie scolastique. C'est en réaction à ces qualités occultes véhiculées à travers une vision animiste de la nature qui prévalait au XVI[e] siècle qu'est née la philosophie mécaniste de la nature du XVII[e] siècle dont Descartes, Gassendi, Mersenne et Boyle furent les plus ardents

---

[160] Christiaan Huygens, *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens*, publ. par la Société hollandaise des sciences, La Haye, M. Nijhoff, 1888-1950, T. XXI, p. 471.
[161] GM, II, 57

défenseurs. C'est sans doute dans son texte « Anti-Barbarus Physicus, pour la philosophie réelle, contre le renouveau des qualités occultes scolastiques et intelligences chimériques », écrit entre 1700 et 1704, que Leibniz exprime de la façon la plus claire son opposition aux forces d'attraction de Newton. Sans jamais nommer ce dernier, Leibniz lui reproche de déduire l'existence des forces d'attraction sans appuyer cette existence par des « raisons explicables », c'est-à-dire par des « raisons mécaniques » où n'interviendrait que la propagation des mouvements subtils de la matière. Pour Leibniz, ceux qui proposent de telles forces d'attraction à distance sans en rechercher la raison suffisante « retombent dans le barbarisme physique et les qualités occultes des scolastiques[162] ». Newton, le premier visé par ces critiques, expose sa position dans la scolie générale à la fin des *Philosophiae naturalis principia mathematica* : « *But hitherto I have not been able to discover the cause of those properties of gravity from phenomena, and I frame no hypotheses; for whatever is not deduced from the phenomena is to be called an hypothesis; and hypotheses, whether metaphysical or physical, whether of occult qualities or mechanical, have no place in experimental philosophy*[163]. » Newton, dans ce passage, rejette à la fois les qualités occultes et la philosophie mécaniste et leur substitue ce qu'il appelle l'« *experimental philosophy* » qui lui permet de déduire des propositions générales, comme le sont les lois du mouvement, à partir d'une observation des phénomènes. Cependant, l'approche qu'il a choisie ne l'empêche nullement d'accorder un statut ontologique à ces mêmes forces d'attraction gravitationnelle, puisqu'il ajoute dans la même scolie : « *And to us it is enough that gravity does really exist, and act according to the laws which we have explained, and abundantly*

---

[162]GP VII, 337-344, traduit par Christiane Frémont dans G. W. Leibniz, *Principes de la nature et de la grâce. Monadologie et autres textes. 1703-1716*, Paris, GF-Flammarion, 1996, p. 30.
[163]I. Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, trad. Motte, p. 547.

serves to account for all the motions of the celestial bodies, and or our sea[164]. » Or, une fois admise l'existence des forces de gravité entre les corps, on est inévitablement amené à accorder le statut de fiction mathématique au principe d'inertie, puisque, à partir du moment où existent plusieurs corps dans l'univers, aucun d'entre eux ne peut se déplacer d'un mouvement rectiligne uniforme en l'absence de forces extérieures. C'est la conclusion à laquelle en arrive Cohen à partir d'une lecture des *Philosophiae naturalis principia mathematica* :

> *In the real world, in which every body attracts and is attracted by every other body, there is no possibility that a given body will not have 'forces impressed upon it' and so be 'compelled to change that state'. In a sense, we can say that Newton was saying no more than that the first law may hold only for a purely imaginary or fictitious or hypothetical situation, either a universe with a single body in it and no force fields or a universe in which bodies do not gravitationally interact with one another*[165].

Barbour, de son côté, fait exactement la même évaluation : « *Inertial motion pure and simple is never present but is always a mathematical construct*[166]. » Pourtant, affirmer que le principe d'inertie représente une fiction mathématique dans l'œuvre de Newton serait une conclusion hâtive si nous ne considérions plus à fond l'ontologie de la nature de Newton en examinant la façon dont il conçoit les concepts de base de la philosophie de la nature, soit ceux de l'espace, du temps et du mouvement.

Les premiers écrits de Newton, ceux du *Waste Book*, témoignent de l'intérêt qu'il manifestait pour des problèmes de physique tels que celui de la collision de deux corps, celui du mouvement circulaire, etc., mais ils ne permettent pas de discerner de façon explicite la conception qu'il avait de l'espace, de la matière et du mouvement. C'est

---

[164] *Ibid.*, p. 547.
[165] I. Bernard. Cohen (1980), p. 106.
[166] Julian. B. Barbour, *op. cit.*, p. 584.

probablement après avoir lu et étudié à fond les *Principes de la philosophie* de Descartes que Newton a élaboré sa propre conception de ces notions, si importantes dans la construction d'une philosophie de la nature. C'est au moins l'impression que laisse un texte qu'il a écrit vers 1668 et qui a été retrouvé dans les années 1940, le *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum* [167], dans lequel Newton se livre à une attaque sévère des concepts de base de la philosophie cartésienne de la nature en analysant en détail les articles des *Principes de la philosophie* dans lesquels Descartes présente sa conception du mouvement. L'attaque de Newton porte essentiellement sur deux points : d'une part, la définition cartésienne du mouvement et, d'autre part, l'identification des lieux par rapport auxquels le mouvement doit être mesuré. Dans un premier temps, Newton tente de démontrer, en comparant différents articles des *Principes de la philosophie*, que sur certains points Descartes se contredit lui-même. Dans un deuxième temps, Newton développe une argumentation afin de montrer que la relativité des mouvements qu'implique la définition cartésienne du mouvement entraîne des conséquences absurdes qui illustrent son caractère confus et irrationnel. Sans faire une étude exhaustive de tous les arguments mentionnés par Newton dans ce texte, il est intéressant de considérer quelques-uns d'entre eux afin de voir comment Newton accorde une certaine primauté à la loi de l'inertie dans sa conception du mouvement. Comme première conséquence, Newton, en se référant explicitement à la définition de l'article 25 des *Principes de la philosophie* — « Le mouvement est le transport d'une partie de la matière, ou d'un corps, du voisinage de ceux qui le touchent immédiatement, et que nous considérons comme en repos, dans le voisinage de quelques autres.» —, mentionne le fait que, si on considère un corps en mouvement, on sera amené à conclure que seule la surface du corps sera en mouvement, puisque les parties internes de

[167] I. Newton, Manuscrit Add 4003 de la Cambridge University Library, publié par A. R. et Mary B. Hall dans leur recueil *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton, op. cit.*, p. 90-121.

ce corps seront au repos par rapport à leur voisinage immédiat. Comme deuxième conséquence absurde de l'article 25, Newton affirme que « chaque corps aura non seulement un unique mouvement propre mais une multitude, pourvu que l'on accorde le mouvement propre et selon la vérité des choses aux éléments dont le tout se meut à proprement parler[168] ». Newton explique qu'en définissant le corps en mouvement comme étant tout ce qui est transporté ensemble — comme le fait Descartes à l'article 25 – , on est inévitablement amené à tirer cette conséquence. En effet, considérons un homme qui porte une montre en se déplaçant sur un bateau. L'agrégat constitué par l'homme et la montre sera considéré comme un corps en mouvement par rapport au voisinage immédiat qu'est le bateau et sera ainsi animé d'un mouvement propre et unique. Par ailleurs, comme il a été expliqué par Descartes à l'article 30, les roues de la montre seront animées d'un mouvement propre et unique par rapport au boîtier. Si l'on tient compte en plus du mouvement du bateau par rapport à la rive, on arrive à la conclusion absurde que les roues de la montre ont ainsi une multitude de mouvements propres et uniques. La troisième conséquence mentionnée par Newton revêt une importance particulière. En effet, Newton prétend qu'à partir de la définition cartésienne du mouvement, il devient pratiquement impossible de faire le lien entre la force exercée sur un objet et le changement d'état de mouvement de cet objet :

> De la doctrine cartésienne il suit qu'un mouvement peut être produit sans qu'aucune force ne soit imprimée. Par exemple, si Dieu provoquait soudainement l'arrêt du mouvement giratoire de notre tourbillon sans imprimer à la Terre de force susceptible de l'arrêter en même temps, Descartes dirait que la Terre se meut désormais au sens philosophique à cause de sa translation à partir du voisinage du

---

[168] I Newton, *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*, traduit du latin par Marie-Françoise Biarnais, dans Isaac Newton, *De la gravitation*, Paris, Gallimard, 1995, p. 117.

> fluide contigu, alors qu'auparavant il a dit au même sens philosophique qu'elle était au repos[169].

Le projet de Newton, tel qu'il apparaît dans son étude des collisions et dans celle du mouvement circulaire, consiste précisément à établir un lien entre la force exercée sur un objet et le changement dans le mouvement de ce même objet. Or, dans le passage cité plus haut, Newton affirme qu'il est possible d'interpréter la définition cartésienne du mouvement en affirmant qu'une force exercée sur un objet provoquerait un changement de position de l'objet qui lui est contigu, ce qui, à ses yeux, rend pour le moins fragiles les bases sur lesquelles on peut construire une dynamique.

Newton énonce par la suite d'autres conséquences absurdes qu'il tire de la doctrine du mouvement de Descartes et termine cette énumération en faisant ressortir comment la conception relative du mouvement est en contradiction avec la loi de l'inertie, telle qu'elle est exprimée dans les deux premières lois de la nature de Descartes.

> Enfin, pour faire éclater l'énorme absurdité de cette position, je dis qu'elle implique qu'un corps en mouvement n'a pas de vitesse déterminée ni de trajectoire définie pour son mouvement. *Bien plus, la vitesse d'un corps se mouvant sans obstacle ne peut être dite uniforme ni la trajectoire de son mouvement, droite.* Pis encore, aucun mouvement n'est possible puisqu'il ne peut y avoir de mouvement sans vitesse ni détermination[170].

Nulle part ailleurs dans tout ce qu'il a écrit, Newton n'a formulé de façon aussi explicite et de façon aussi claire l'incompatibilité entre la loi de l'inertie et la définition cartésienne des mouvements, qu'il interprète de façon purement relative. Compte tenu de l'importance de la position de Newton, il convient de suivre, ne serait-ce que dans les grandes lignes, l'argumentation qu'il présente pour l'appuyer.

---

[169] *Ibid.*, p. 118.
[170] *Ibid.*, p. 120.

> Mais, pour plus de clarté, il faut montrer avant tout qu'une fois le mouvement accompli, il est impossible, selon Descartes, d'assigner le lieu où le corps était au commencement du mouvement ou de dire à partir d'où le corps se mouvait. La raison en est que le lieu ne peut être défini ni assigné, d'après Descartes, qu'à partir de la position des corps environnants, et qu'une fois le mouvement accompli, la position des corps environnants ne reste pas davantage la même qu'avant [ce mouvement] .
> Assurément, on ne trouve pas au monde de corps dont les positions mutuelles ne changent pas par le passage du temps, et bien moins encore de corps qui ne se meuvent pas au sens cartésien, en tant que transportés du voisinage des corps contigus ou en tant que parties d'autres corps en translation : par conséquent, il n'y a pas de fondement à l'aide duquel on puisse désigner actuellement le lieu passé ou dire qu'un tel lieu puisse être trouvé dans la nature. Car, comme le lieu, d'après Descartes, n'est rien d'autre que la surface des corps environnants ou la position par rapport à des corps quelconques plus éloignés, il est impossible, d'après cette doctrine, que le lieu existe dans la nature plus longtemps que ne demeurent les mêmes positions des corps desquelles il tient sa détermination propre.
> C'est pourquoi, comme une fois le mouvement accompli, il est impossible d'assigner le lieu où ce mouvement avait commencé, c'est-à-dire le début de l'espace parcouru, et que ce lieu n'existe plus, l'espace parcouru n'ayant pas de début, ne peut non plus avoir de longueur ; et par conséquent, comme la vitesse dépend de la longueur de l'espace parcouru dans un temps donné, il suit qu'un mobile ne peut avoir de vitesse ; ce que j'ai voulu montrer en premier lieu. En outre, ce que l'on dit du début de l'espace parcouru doit être entendu de la même manière de tous les lieux intermédiaires ; il suit qu'aucun espace n'est parcouru et que le mouvement n'a pas de détermination, ce que j'ai voulu indiquer en second lieu[171].

Le point de départ de toute l'argumentation de Newton réside dans l'affirmation que tous les corps sont en mouvements les uns par rapport aux autres. De ce point de vue, il ne fait que reprendre à son compte une idée qui est à la base de la philosophie de la nature de Descartes et de la philosophie mécaniste du XVII^{e} siècle. Par la suite, en s'appuyant sur cette prémisse et un utilisant les définitions cartésiennes du lieu et du mouvement, Newton tente de démontrer qu'on ne peut déterminer ni la grandeur, ni la direction de la vitesse d'un corps en mouvement. Une telle conclusion, il va sans dire, est totalement incompatible avec l'idée d'un mouvement rectiligne uniforme, en l'absence de force extérieure. Bien plus, cette conclusion qu'un corps en mouvement n'aurait ni vitesse, ni détermination, représente l'aberration suprême, puisque la définition cartésienne du mouvement conduit

[171] *Ibid.*, p. 120-121.

ainsi à la dissolution même de l'idée de mouvement qu'elle prétendait préciser. Il ne fait aucun doute que toute cette réflexion sur la doctrine cartésienne du mouvement est à l'origine de la conception newtonienne du mouvement et du lieu par rapport auquel doit être mesuré ce mouvement, puisqu'il ajoute à la fin de son argumentation : « C'est pourquoi, il est nécessaire de rapporter la détermination des lieux et donc le mouvement local à quelque être immobile telle que l'étendue seule ou l'espace considéré comme quelque chose de réellement distinct des corps[172]. » On retrouve d'ailleurs une exposition plus formelle de la doctrine newtonienne du mouvement dans le scolie au livre I des *Philosophiae naturalis principia mathematica*, où Newton présente sa conception absolutiste du temps, du lieu, de l'espace et du mouvement, tout en admettant la possibilité que ces mêmes termes soient entendus dans un sens relatif.

I *Absolute, true, and mathematical time, of itself, and from its own nature, flows equably without relation to anything external, and by another name is called duration : relative, apparent, and common time, is some sensible and external measure of duration by means of motion, which is commonly used instead of true time.*

II *Absolute space, in its own nature, without relation to anything external, remains always similar and immovable. Relative space is some movable dimension or measure of the absolute space; which our senses determine by its position to bodies; and which is commonly taken for immovable space.*

III *Place is part of space which a body takes up, and is according to the space, either absolute or relative. I say, a part of space; not the situation, nor the external surface of the body.*

IV *Absolute motion is the translation of a body from one absolute place into another; and relative motion, the translation from one relative place into another*[173].

Après avoir présenté ces définitions, Newton ajoute que l'on peut faire la distinction entre le repos et le mouvement, absolu ou relatif, à partir des propriétés, des causes et des effets. Une lecture attentive du scolie permet de constater qu'il constitue dans les faits une tentative de réfutation de la majorité des concepts de la philosophie de la nature de

---

[172] *Ibid.*, p. 122.

[173] I. Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, trad. Motte, p. 6-7.

Descartes. Cependant, il faut reconnaître que dans ce scolie, Newton ne présente pas de façon aussi explicite que dans le *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*, l'incompatibilité de la loi de l'inertie avec la conception relative du mouvement exprimée par Descartes, mais il la présente de façon implicite dans l'ensemble du texte et en particulier dans un paragraphe où il précise que le mouvement réel d'un objet, à l'inverse du mouvement relatif, ne peut être produit ou modifié que par l'application d'une force sur cet objet.[174] En d'autres mots, si le mouvement relatif d'un corps peut être modifié sans qu'une force n'ait été exercée sur cet objet, on doit conclure qu'il y a contradiction avec le fait que ce corps puisse se déplacer en ligne droite, à vitesse constante, en l'absence d'une force extérieure. On constate donc que ce scolie est en continuité avec le texte du *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*, dans lequel il rejetait tous les éléments de l'ontologie cartésienne de la nature, à l'exception d'un seul, soit celui du principe d'inertie, tel qu'il apparaît dans les deux premières lois de la nature de Descartes. Bien plus, comme il apparaît dans le *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum*, Newton semble accorder une priorité ontologique à ce principe, puisqu'il voit dans l'incompatibilité de ce principe avec la définition cartésienne du mouvement la pire des absurdités qui découle de la doctrine du mouvement de Descartes. Dans ces circonstances, on est amené à reconsidérer le statut ontologique du principe d'inertie dans l'œuvre de Newton.

En effet, si ce principe n'avait été qu'une fiction mathématique dont l'utilité ne se limite qu'à constituer un axiome important dans des constructions mathématiques, comme celles présentées dans les deux premiers livres des *Philosophiae naturalis principia mathematica*,

---

[174] *Ibid.*, p. 10 : « *The causes by which true and relative motions are distinguished, one from the other, are the forces impressed upon bodies to generate motion. True motion is neither generated nor altered, but by some force impressed upon the body moved; but relative motion may be generated or altered without any force impressed upon the body.* »

le problème mentionné plus haut se serait dissipé de lui-même, puisque le principe d'inertie aurait été confiné au domaine purement abstrait des constructions mathématiques. Dans cette perspective, le principe d'inertie semble être un élément essentiel de l'ontologie de la nature de Newton, utile sans doute pour expliquer et décrire le comportement des objets de la nature, mais aussi, indispensable à la compréhension de cette dernière, puisque Newton le présente comme un élément constitutif des êtres de la nature. Ainsi, au début du livre III des *Philosophiae naturalis principia mathematica*, qu'il nomme le « Système du Monde », Newton présente les règles du raisonnement en philosophie. À la troisième règle, Newton présente les qualités des corps qui sont considérées comme les qualités universelles de tous les corps, quels qu'ils soient. Parmi celles-ci, on retrouve l'importante qualité suivante : « *That all bodies are movable, and endowed with certain powers (which we call the inertia) of persevering in their motion, or in their rest, we only infer from the like properties observed in the bodies which we have seen*[175]. » On reconnaît ici la première loi du mouvement que Newton avait énoncée précédemment au livre I. Dans cet extrait, Newton réitère ce qu'il avait affirmé dans la présentation de cette règle, à savoir que cette qualité, comme les autres qu'il mentionne — l'extension, la dureté, l'impénétrabilité — nous sont connues par l'expérience seulement. On observera par ailleurs, dans ce même extrait, que Newton, quittant le terrain de l'*experimental philosophy*, attribue aux corps une certaine puissance de nature métaphysique pour leur permettre de se maintenir dans leur état de mouvement inertial. Or, cette propriété universelle que constitue le principe d'inertie, Newton ne se limite pas à la mentionner dans les règles du raisonnement, mais il l'applique un peu plus tard au système solaire tout entier, en utilisant un raisonnement où apparaît une certaine circularité. L'auteur des *Philosophiae naturalis principia*

[175] *Ibid*, p. 399.

mathematica présente d'abord l'Hypothèse I : « *That the centre of the system of the world is immovable*[176]. » Il justifie cette hypothèse en affirmant : « *This is acknowledged by all, while some contend that the earth, others that the sun, is fixed in that centre. Let us see what may from hence follow*[177]. » Par la suite, Newton présente la proposition XI : « *That the common centre of gravity of the earth, the sun, and all the planets, is immovable*[178]. ».Pour prouver ce théorème, Newton fait appel à sa première loi du mouvement : « *For (by Cor. IV of the Laws) that centre either is at rest, or moves uniformly forwards in a right line ; but if that centre moved, the centre of the world would move also, against the Hypothesis*[179]. » Ainsi, l'ensemble du système solaire, comme chacun des objets qui le composent, possède cette qualité universelle d'être au repos ou de se déplacer selon un mouvement rectiligne uniforme. De ces deux possibilités, Newton choisit le repos en s'appuyant sur l'Hypothèse I[180]. Cet exemple illustre assez bien la primauté qu'accordait Newton à sa première loi, puisque, eût-il appliqué sa loi de l'attraction gravitationnelle aux étoiles, il aurait au moins envisagé la possibilité que le système solaire ne soit ni immobile, ni en mouvement rectiligne uniforme, mais qu'il soit plutôt animé d'un mouvement plus complexe comme le confirmèrent les observations ultérieures de l'astronomie. On constate une certaine ambiguïté en ce qui concerne le véritable statut qu'il convient d'accorder à la loi de l'inertie chez Newton. Cette ambiguïté se reflète d'ailleurs dans le choix de Newton de nommer les éléments de base de sa philosophie de la nature : « *Axioms or Laws of Motion* ». Que les contemporains de Newton ou des commentateurs actuels de son oeuvre aient plutôt été portés à les considérer comme

---

[176] *Ibid.*, p. 419.
[177] *Ibid.*, p. 419.
[178] *Ibid.*, p. 419.
[179] *Ibid.*, p. 419.
[180] Dans une édition précédente du Système du Monde, Newton, envisageant la possibilité d'un mouvement du centre de gravité du système solaire, affirmait : « *But this is an hypothesis hardly to be admitted ; and, therefore, setting it aside, that common centre will be quiescent.* », *ibid.*, p. 574.

des fictions mathématiques n'a pas lieu d'étonner. Cependant, on doit reconnaître que Newton n'a jamais présenté de façon explicite sa première loi du mouvement comme une fiction mathématique. Bien au contraire, comme nous l'avons vu précédemment, Newton l'a toujours présentée comme une propriété universelle des corps, qu'il est possible d'observer chez certains d'entre eux. Si on ajoute à cela le fait que Newton s'est efforcé, dans le scolie de la définition VIII du livre I des *Philosophiae naturalis principia mathematica*, de définir les éléments de base de sa philosophie de la nature que sont l'espace, le temps, le lieu et le mouvement, de façon à ce qu'ils puissent assurer une cohésion avec la loi de l'inertie; si on ajoute aussi le fait que Newton, poursuivant dans la même voie, a tenté de montrer comment on peut déterminer l'existence d'un mouvement absolu d'un objet, on doit admettre alors que le principe d'inertie peut être considéré comme un élément de l'ontologie de la nature qui se dégage des textes de Newton.

5. Conclusion

Nous avons pu constater en parcourant les textes de la jeunesse de Newton que l'influence de Descartes en ce qui concerne l'origine du principe d'inertie et de certains concepts clé était indéniable. Que Newton soit allé plus loin que Descartes dans la mathématisation des mouvements et qu'il ait proposé une approche épistémologique nouvelle pour la philosophie de la nature ne fait aucun doute non plus. Le point le plus important qu'il convient de souligner est que Newton a été le premier à saisir que cette loi de l'inertie est étroitement liée à une conception globale du mouvement et, en particulier, à l'existence d'un système de référence privilégié par rapport auquel puisse être mesuré le mouvement rectiligne uniforme. En l'absence d'une telle référence, le mouvement peut être rectiligne pour un observateur et courbe pour un autre, ce qui enlève à cette loi son caractère d'universalité. Newton a résolu ce problème en identifiant ce système de référence à l'espace absolu. À la fin du scolie de la définition VIII du livre I des *Philosophiae naturalis principia mathematica*, il affirme qu'il se propose dans son traité de trouver les mouvements vrais à partir des causes, des effets et des différences apparences. Il ajoute ensuite : « Car, c'est à cette fin que j'ai composé le présent traité[181] ». La solution apportée par Newton à ce problème n'a manifestement pas satisfait la plupart des commentateurs, puisque d'autres philosophes intéressés par la question ont, au XIX^e^ et au XX^e^ siècles, proposé des réponses différentes. À cet égard, il est intéressant d'observer comment Leibniz, dont la conception de l'espace et du temps est différente de celle de Newton, a pu apporter une interprétation originale, quoique largement ignorée de la plupart des commentateurs, du principe d'inertie.

[181] I. Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, trad. Marie-Françoise Biarnais, p. 39.

Chapitre III. — Leibniz et la notion d'inertie naturelle

Il faut admettre dès le départ que le principe d'inertie n'occupe pas dans la physique de Leibniz une place aussi prépondérante que celle qu'il occupe dans les écrits de Descartes et de Newton. Ce fait constitue un indice supplémentaire que le projet de Leibniz dans le domaine de la philosophie de la nature est radicalement différent de celui de la plupart des autres savants et philosophes du XVII^e^ siècle. Nous n'avons pas l'intention dans ce travail d'entreprendre une étude de la dynamique de Leibniz en tentant d'observer au passage comment il a pu intégrer le principe d'inertie dans différentes parties de sa physique. Ce travail a été largement accompli par François Duchesneau dans son livre *La dynamique de Leibniz.* Dans son étude qui tient compte des points de vue énoncés précédemment sur le même sujet par Hannequin[182] et Gueroult[183], tout en les critiquant au besoin et en leur apportant un éclairage complémentaire, Duchesneau retrace l'évolution de la pensée de Leibniz dans le domaine de la physique à partir des premiers textes des années 1670 consacrés aux mouvements, jusqu'aux écrits de la période de la maturité, qui portent essentiellement sur ce que Leibniz appelle la « dynamique ». L'angle sous lequel nous entendons mettre en lumière la place du principe d'inertie dans l'œuvre de Leibniz est différent de celui envisagé par Duchesneau et ses prédécesseurs. Tout en nous appuyant sur ces études et sur des explications très pertinentes sur la méthode de Leibniz présentées par Duchesneau dans *Leibniz et la méthode de la science,* nous nous intéresserons à trois aspects qui ressortent d'une lecture de passages de l'œuvre de Leibniz où celui-ci traite du principe d'inertie : en premier lieu, la distinction entre la notion d'inertie naturelle, que

[182] A. Hannequin, *Études d'histoire des sciences et d'histoire de la philosophie,* Paris, F. Alcan, 1908, 2 vol.
[183] M. Gueroult, *Leibniz. Dynamique et métaphysique, suivi d'une note sur le principe de la moindre action chez Maupertuis,* Paris, Aubier-Montaigne, 1967.

Leibniz emprunte à Kepler, à Descartes et à Claude Perrault, et le principe d'inertie ; en second lieu, la justification et la démonstration que présente Leibniz du principe d'inertie ; en troisième lieu, l'utilisation qu'il en fait dans la construction de sa dynamique. Une telle analyse fera ressortir la distance qui sépare Leibniz de ses contemporains, dont Newton en particulier, en ce qui concerne la construction de la science. Mais en même temps, cette analyse permettra, du moins l'espérons-nous, de mettre en lumière l'originalité du projet leibnizien et la justesse de ses intuitions en ce qui concerne les orientations que doit prendre la construction d'une nouvelle physique. La thèse que nous soutiendrons à travers les trois aspects mentionnés plus haut est que le principe d'inertie représente pour Leibniz plus une abstraction qu'une loi de la nature. Cette position représenterait un renversement par rapport aux positions de Descartes et de Newton.

La question de départ est manifestement de savoir si Leibniz avait une connaissance et une bonne compréhension du principe d'inertie. Cette question, si elle peut paraître insolite à certains égards, demeure pertinente, car certains commentateurs sérieux, tels que I. Bernard Cohen et Alexandre Koyré, y ont répondu par la négative. Ces derniers n'ont fait que reprendre le reproche en ce sens adressé par le philosophe anglais Clarke à Leibniz, dans la correspondance que les deux ont tenue en 1715 et 1716, peu de temps avant la mort de Leibniz. Or, le point de vue de ces commentateurs, de même que celui de Clarke, s'appuie sur l'utilisation que fait Leibniz de la notion d'inertie naturelle, empruntée à Kepler. Cette notion serait à leurs yeux incompatible avec le contenu du principe d'inertie, tel que le concevait Newton dans sa première loi du mouvement, et l'utilisation par Leibniz de cette notion illustrerait le fait qu'il avait une méconnaissance, ou tout au moins une incompréhension, du principe d'inertie. Dans ce contexte, il nous semble important au départ de faire la lumière sur les critiques adressées à Leibniz par ces auteurs. Notre objectif à cet égard, sera de montrer que la notion d'inertie naturelle et le principe d'inertie sont des notions distinctes dans la physique de Leibniz, qu'elles sont apparues dans son œuvre à des moments différents et dans des contextes différents et qu'elles jouent des rôles totalement différents, même si à certains moments elles apparaissent dans une certaine proximité. Cette clarification nous semble d'autant plus importante que toutes les critiques adressées à Leibniz concernant sa prétendue méconnaissance du principe d'inertie reposent sur une confusion entre ce principe et la notion d'inertie naturelle et s'appuient sur une lecture superficielle de certains passages de l'œuvre de Leibniz. Le premier sans doute à avoir fait le reproche à Leibniz de ne pas connaître le sens et la portée de la première loi du mouvement de Newton est Clarke dans la correspondance qu'il a entretenue avec Leibniz. Nous présenterons donc en premier lieu le contenu des critiques faites à Leibniz par Clarke et les autres commentateurs qui sont allés dans le même sens ; par la suite, nous tenterons de cerner l'apparition de la notion d'inertie naturelle dans la physique de Leibniz et nous décrirons le rôle que ce dernier lui fait jouer dans sa physique afin de montrer qu'elle ne saurait être confondue avec le principe d'inertie.

1. La controverse entre Leibniz et Clarke à propos de la notion d'inertie

Selon Vailati[184], la correspondance qu'ont échangée Leibniz et Clarke en 1715-1716 constitue la discussion philosophique dont la renommée et l'influence ont été probablement les plus grandes au XVIII^{e} siècle. Clarke, le plus grand théologien anglais de son époque, était certainement reconnu comme l'un des philosophes les plus aptes à exposer la philosophie naturelle de Newton. Si on ajoute à cela le fait que Clarke était très proche de

[184] Ezio Vailati, *op. cit.*, p. 3.

Newton, il est possible de penser qu'il s'est fait dans cet échange avec Leibniz le porte-parole de Newton. Cependant, aux yeux de Vailati, une telle assertion doit être nuancée, même si dans les faits Clarke et Newton ont probablement discuté le contenu de certains passages qui concernent la physique. En premier lieu, aucun document tiré des archives de Newton ne vient corroborer le fait qu'il ait pu participer à la conception des lettres de Clarke. En second lieu, ce serait faire une grande injustice à Clarke que de limiter son rôle à celui de rédacteur des opinions de Newton, puisque plusieurs des thèmes exposés par Clarke avaient déjà été abordés par celui-ci dans les conférences Boyle (1705-1706), dans des échanges épistolaires avec d'autres philosophes ou dans des sermons. De plus, on peut présumer que Clarke, compte-tenu de sa grande compétence dans les domaines de la philosophie, et en particulier de la philosophie de Newton, n'avait pas besoin de l'appui de Newton pour rédiger son argumentation dans ses échanges avec Leibniz. Plusieurs sujets sont abordés dans cette correspondance : certains sont de nature théologique ou métaphysique tels que la relation de Dieu à l'univers, la relation de l'âme au corps, l'espace et le temps ; les autres sujets sont de nature scientifique, tels que la conception de la matière, la possibilité de l'existence des atomes et du vide, la nature de la force attribuée aux corps. Il n'est pas question ici de faire un résumé de toutes les opinions émises, cela serait trop long. Nous nous limiterons à tracer un fil conducteur du début des échanges jusqu'à l'apparition de la divergence d'opinion à propos du rôle de la force d'inertie (*vis inertiae*).

Dès la première lettre de Leibniz à Clarke, datée de novembre 1715, on voit poindre les points de divergence d'où émergera éventuellement la controverse à propos de la notion d'inertie :

> Monsieur Newton, et ses sectateurs, ont encore une fort plaisante opinion de l'ouvrage de Dieu. Selon eux Dieu a besoin de remonter de temps en temps sa montre. Autrement elle cessairait d'agir. Il n'a pas eu assés de veue pour en faire un mouvement perpétuel. Cette Machine de Dieu est même si imparfaite selon eux, qu'il est obligé de la décrasser de temps en temps par un concours extraordinaire et même de la raccommoder, comme un horloger son ouvrage ; qui sera d'autant plus mauvais maistre, qu'il sera plus souvent obligé d'y retoucher et d'y corriger. Selon mon sentiment, la même force et vigueur y subsiste tousjours, et passe seulement de matière en matière, suivant les loix de la nature, et le bel ordre préétabli[185].

Retenons deux éléments de cet important passage. Le premier est d'ordre métaphysique, le deuxième est du domaine de la physique et découle du premier. En premier lieu, Leibniz reproche à Newton le rôle qu'il fait jouer à Dieu, à savoir celui d'un horloger qui devrait « décrasser » de temps en temps son ouvrage. Pour Leibniz, Dieu est un être parfait qui a conçu et réalisé le meilleur des mondes possibles. En conséquence, son œuvre n'a pas besoin d'être retouchée. En second lieu, Leibniz reproche à Newton de concevoir l'univers comme une « Machine imparfaite » qui nécessiterait d'être corrigée et remontée de temps en temps. Selon Leibniz, la même force subsiste toujours dans l'univers et elle peut passer d'un corps à un autre selon les lois de la nature. Dans leurs échanges épistolaires subséquents, Leibniz et Clarke vont clarifier leurs points de vue à partir de ces deux positions de départ. En ce qui concerne l'idée que chacun des protagonistes se fait du rôle de Dieu dans l'univers, les deux philosophes vont rester sur leurs positions : Leibniz considère Dieu comme une « *Intelligentia Supramundana* » qui a créé la machine la plus parfaite possible qui peut fonctionner de façon autonome, alors que Clarke considère que le rôle de Dieu est celui d'un chef suprême de gouvernement qui doit intervenir fréquemment pour assurer le bon fonctionnement de l'État. Le deuxième sujet d'opposition, à savoir la prétendue non-conservation de la force dans l'univers, à laquelle fait allusion Newton dans ses écrits, donnera lieu à une discussion passionnante dans laquelle chacun des deux

---

[185] GP, VII, 352.

philosophes va devoir préciser sa position en l'appuyant sur des arguments solides d'une part, et en s'assurant, d'autre part, qu'elle respecte les données de l'expérience. L'élément important de toute cette discussion reste sans doute la signification que chacun des deux attribue à l'expression « force de l'univers », puisque cela laisse entrevoir les orientations différentes que prennent la physique de Newton et celle de Leibniz. C'est cette partie de leur discussion que nous mettrons en relief maintenant afin d'éclairer le lieu d'où émergera la controverse à propos de la notion d'inertie.

Dans son troisième écrit, Leibniz donne suite au désaccord qu'il avait exprimé dans sa première lettre concernant la conception que se fait Newton de la diminution de la force dans l'univers :

> (13) Si la force active se perdoit dans l'univers par les loix naturelles que Dieu y a établies en sorte qu'il eut besoin d'une nouvelle impression, pour restituer cette force, comme un ouvrier qui remedie à l'imperfection de sa machine ; Le desordre n'auroit pas seulement lieu à l'égard de nous, mais à l'égard de Dieu luy même, il pouvoit le prevenir, et prendre mieux ses mesures pour éviter un tel inconvenient : aussi l'a-t-il fait en effect.
>
> (14) Quand j'ay dit que Dieu a opposé à de tels desordres des remedes par avance, je ne dis point que Dieu laisse venir ces desordres et puis les remedes ; mais qu'il a trouvé moyen par avance d'empecher les desordres d'arriver[186].

L'argument utilisé par Leibniz est du domaine de la métaphysique. C'est, dans les faits, la thèse de l'harmonie préétablie et du choix par Dieu du meilleur des mondes possibles. Par ailleurs, le philosophe établit un lien étroit entre le domaine de la métaphysique et celui de la physique : la conservation de la force découle des lois naturelles que Dieu a établies dans l'univers. Les lois de la nature procèdent ainsi de la volonté divine, c'est-à-dire du choix du meilleur. Couturat ajoute à ce propos : « C'est pourquoi Leibniz professe que les principes de la mécanique (qui sont les premières lois de la nature) sont d'une nécessité

[186] *Ibid.*, p. 366.

métaphysique, et non géométrique (c'est-à-dire logique), et veut réhabiliter (contre Bacon, Descartes et les mécanistes) l'usage des causes finales en physique[187]. » Dans la lettre suivante, Clarke répond à Leibniz en s'opposant à l'utilisation des mots « imperfection, désordre, inconvénient » pour caractériser un monde dans lequel la force absolue ne serait pas conservée et fait appel plutôt à une notion métaphysique, « la dépendance des choses », pour explique cet état de fait :

> 13 & 14 The Active Forces, which are in the Universe, diminishing themselves so as to stand in need of New impressions ; is NO INCONVENIENCE, NO DISORDER, NO IMPERFECTION IN THE WORKMANSHIP of the Universe ; but is the consequence of the nature of DEPENDENT THINGS. Which DEPENDENCY of THINGS, is not a matter that WANTS TO BE RECTIFIED. The Case of a Humane Workman making a MACHINE, is quite another thing: Because the POWERS or FORCES by which the Machine continues to move, are altogether independent on the Artificer[188].

Dans la lettre suivante, Leibniz se montre plus ferme et plus agressif que dans ses écrits antérieurs : « 38. Ceux qui s'imaginent que les forces actives se diminuent d'elles-mêmes dans le monde, ne connoissent pas bien les principales loix de la nature, et la beauté des ouvrages de Dieu. 39. Comment prouveront-ils, que ce défaut est une suite de la dépendance des choses ?[189] » Leibniz, en prétendant que ses adversaires ne connaissent pas bien les lois de la nature, puisqu'ils nient la conservation de la force dans l'univers, lance une attaque sérieuse. En effet, en 1715, au moment où se tient cet échange, la réputation de Newton dans l'explication des lois de la nature n'est plus à faire et on peut présumer que si les questions de métaphysique ont peu d'intérêt pour lui, en revanche, celles de physique le préoccupent au plus haut point. Par ailleurs, on peut observer que Leibniz tente d'amener la discussion sur le terrain de la métaphysique en invitant son correspondant à prouver son assertion suivant laquelle la diminution de la force s'expliquerait par la dépendance des

[187] L. Couturat, *La logique de Leibniz*, Hildesheim, Georg Olms Verlagsbuchhandlung, 1961, p. 225.
[188] GP, VII, 370.
[189] *Ibid.* p. 376.

choses, laissant ainsi voir que sur ce point, le différend porte sur le rapport de causalité appliqué à l'ordre de l'univers créé.

À partir de la quatrième lettre de Clarke, la discussion se déplace carrément sur le terrain de la physique, elle permettra à chacun de préciser sa conception de la force, de la conservation de celle-ci et du rôle de l'inertie de la matière. Dans cette réponse, Clarke rétorque que l'affirmation de Leibniz concernant la conservation de la force totale dans l'univers est une assertion non prouvée. À l'appui de cette affirmation, il donne l'exemple de la collision de deux corps inélastiques :

> 38. This is bare Assertion, without Proof. Two Bodies, void of Elasticity, meeting together with contrary Forces, Both lose their Motion. And S^r ISAAC NEWTON has given a MATHEMATICAL Instance, wherein MOTION is continually DIMINISHING & INCREASING in QUANTITY, without any communication therof to other Bodies.
> 39. This in no DEFECT, as is here supposed; but is the JUST AND PROPER Nature of INERT MATTER[190].

Au numéro 38, Clarke présente deux arguments du domaine de la physique pour défendre son point de vue. Le premier est un résultat d'expérience que Leibniz ne peut mettre en doute, à savoir le fait que deux corps inélastiques perdent chacun leur mouvement lors d'une collision. Peu importe la manière dont on évalue la force du mouvement, il est difficile, à première vue, d'imaginer comment il est possible d'affirmer qu'il y ait conservation de la force lorsque les corps n'ont plus de mouvement. Le deuxième argument invoqué par Clarke est d'ordre mathématique et s'appuie sur l'autorité de Newton. Dans la deuxième partie de sa réponse, au numéro 39, Clarke attribue à l'inertie de la matière la diminution de la force dans l'univers. Bien que le terme « inertie » soit utilisé pour la première fois dans la discussion, on peut déjà soupçonner que la divergence entre les deux

---

[190] *Ibid.*, p. 387.

protagonistes repose en dernière analyse sur le fait d'admettre ou non une matière intrinsèquement inerte.

Dans son cinquième écrit, Leibniz tente d'abord de réfuter l'objection formulée par Clarke dans son exemple de la collision inélastique des deux corps. Essentiellement, sa réponse consiste à affirmer que la force des corps en mouvement n'est pas perdue, mais est réintégrée en quelque sorte par le mouvement des parties situées à l'intérieur des corps eux-mêmes.

> J'avois soutenu que les forces actives se conservent dans le monde. On m'objecte que deux corps mols ou non élastiques, concourant entre eux, perdent de leur force. Je reponds que non. Il est vray que les touts la perdent par [le] rapport à leur mouvement total ; mais les parties la reçoivent, étant agitées >INTÉRIEUREMENT< par la force du concours OU DU CHOC. Ainsi ce dechet n'arrive qu'en apparence : les forces ne sont point detruites, mais dissipées parmy les parties menuës. Ce n'est pas les perdre, mais c'est faire comme font ceux qui changent la grosse monnoye en petite[191].

Dans la deuxième partie de sa réponse, Leibniz réitère le fait que Clarke n'a pas prouvé que la diminution de la force venait de la dépendance des choses, il maintient son affirmation suivant laquelle une Machine imparfaite doit être affublée d'un défaut, et, ce qui est le plus important pour notre propos, il reproche à Clarke de faire appel à l'inertie de la matière pour justifier sa position :

> (102) On dit maintenant que c'est une suite de l'inertie de la matière, mais c'est ce qu'on ne prouvera pas non plus. Cette INERTIE mise en avant et nommée par Kepler, et répétée par des Cartes, >DANS SES LETTRES< et que j'ay employée dans la Théodicée pour donner une image >et en même temps un échantillon< de l'imperfection naturelle des creatures ; fait seulement que les vitesses sont diminuées, quand les matieres sont augmentées, mais c'est sans aucune diminution des forces[192].

---

[191] *Ibid.* p. 414.
[192] *Ibid.* p. 414.

Leibniz rappelle l'origine de la notion d'inertie de la matière, chez Kepler, le contexte dans lequel il l'a lui-même utilisée et la signification qu'il est possible de lui donner dans ce contexte précis, mais il s'oppose à son utilisation pour expliquer une quelconque diminution des forces. Les précisions apportées par Leibniz portent essentiellement sur la signification de cette notion d'inertie et le rôle qu'elle peut jouer dans la description des mouvements. C'est à la suite de ces propos de Leibniz que nous arrivons au cœur de la controverse entre les deux philosophes concernant la notion de l'inertie. Dans sa cinquième réponse, Clarke tente d'abord de dissiper une confusion dans la signification que chacun des deux assigne au mot « force ». Il affirme à ce propos :

> For the FORCE here spoken of, is not the VIS INERTIAE of Matter, (which continues indeed the same, so long as the QUANTITY OF MATTER continues the same:) but the FORCE here meant, is RELATIVE ACTIVE IMPULSIVE FORCE; which is always proportional to the QUANTITY OF RELATIVE MOTION : As is constantly in Experience [...][193]

Par la suite, Clarke précise sa conception d'une matière intrinsèquement inerte :

> 100-102 That ACTIVE FORCE in the sense above-defined, does naturally DIMINISH continually in the material Universe ; hath been shown in the last Paragraph. That this is no DEFECT, is evident ; because 'tis only a Consequence of the INERTIA of Matter, being LIFELESS, VOID OF MOTRICITY, UNACTIVE and INERT. For the INERTIA of Matter causeth, not only (as this learned Author observes,) that Velocity decreases in proportion as QUANTITY of Matter increases, (which is indeed no DECREASE of THE QUANTITY of MOTION ;) but also that SOLID and perfectly HARD BODIES, void of Elasticity, meeting together with equal and contrary Forces, lose their WHOLE MOTION and ACTIVE FORCE, (as has been above shown,) and must DEPEND upon some OTHER CAUSE for NEW MOTION[194].

Dans cet important passage Clarke exprime de façon explicite sa conviction que la matière est intrinsèquement inerte. Selon lui, c'est précisément à cause de cette inertie de la matière que deux corps solides et inélastiques perdent tout leur mouvement et leur force active lors d'une collision et doivent faire appel à une autre cause pour un nouveau mouvement. Pour

[193] *Ibid.* p. 434.
[194] *Ibid.*, p. 434.

bien comprendre le point de vue exprimé ici par Clarke, il faut, selon Vailati, avoir à l'esprit le conflit qui prévalait au XVIIe siècle entre les défenseurs de l'atomisme et ceux de la conservation de la force motrice. Newton et Clarke, qui faisaient partie du premier groupe, supposaient que la matière est composée d'atomes, parfaitement durs et inélastiques et que, lors de collisions entre deux corps composés de ces atomes une partie au moins de la force des corps était perdue. Il va de soi qu'une telle description est incompatible avec les théories de la conservation de la force dans l'univers. En conséquence, suivant cette doctrine une nouvelle force devait être ajoutée dans l'univers pour compenser cette perte. Que cet ajout soit fait par l'intervention divine directement, comme le prétendait Clarke, ou par des moyens plus complexes, comme le suggérait Newton, un tel ajout nécessitait le recours à des moyens non mécaniques, à des qualités occultes en somme, auxquelles s'opposait Leibniz[195]. Par ailleurs, à cette divergence d'opinion, de nature métaphysique, entre Leibniz et Clarke sur la conservation de la force totale dans l'univers, on doit ajouter une divergence tout aussi fondamentale sur le sens qu'il faut donner au mot « force ». Clarke et Newton, suivant en cela l'exemple de Descartes, ont identifié ce terme à la quantité de mouvement, soit le produit de la masse d'un corps par sa vitesse. Leibniz , de son côté, identifie la force avec ce qu'on a appelé la *vis viva*, le produit de la masse par le carré de la vitesse. Vailati rappelle que la controverse à propos de la nature de la force est apparue en 1686, alors que Leibniz publia la *Brevis Demonstratio,* dans laquelle il expliquait à partir d'exemples qu'on ne saurait, comme le faisait Descartes, évaluer la conservation de la puissance motrice à partir de la quantité de mouvement. Ce thème important pour l'histoire de la science ayant déjà fait l'objet de

---

[195] Ainsi Leibniz écrit au début de son cinquième écrit : « Un corps n'est jamais mû naturellement que par un autre corps qui le pousse en le touchant ; et après cela il continue jusqu'à ce qu'il soit empeché par un autre corps qui le touche : toute autre operation sur les corps est ou miraculeuse ou imaginaire. » *Ibid.* p. 139.

plusieurs études, nous nous limiterons ici à suivre de près la pensée des deux philosophes sur le thème précis de l'inertie. Or, à ce propos, le point culminant de la controverse entre Leibniz et Clarke, apparaît dans une note insérée par Clarke dans son édition de la *Correspondance Leibniz-Clarke*. Clarke y exprime ce qu'il croit être une contradiction flagrante entre la notion de l'inertie inspirée de Kepler, qu'utilise Leibniz, et le principe d'inertie, tel qu'il est exprimé dans la première loi du mouvement de Newton,

> La force de la Matière, qu'on appelle *Vis inertiae*, est cette *Force passive*, par laquelle la Matière continue d'elle-même dans l'état où elle est, et ne sort jamais de cet état qu'à Proportion de la puissance contraire qui agit sur elle. C'est une force passive, non pas par laquelle (comme Mr. Leibniz l'entend après Kepler) la Matière résiste au *mouvement* ; mais par laquelle la Matière résiste également à tout ce qui pourrait changer l'état où elle est, soit qu'elle se trouve en *repos*, ou en *mouvement* : De sorte que la même Force requise pour donner une certaine *Vitesse* à une certaine *Quantité de Matière* qui est en *repos*, est aussi toujours requise pour faire perdre ce même degré de vitesse à la même Quantité de Matière, et pour la réduire à l'état de repos où elle était auparavant[196].

Clarke voit dans certains propos de Leibniz une confusion dans l'interprétation que ce dernier fait de la première loi du mouvement de Newton et en particulier en ce qui concerne le rôle de la force d'inertie qu'il considère comme passive. Nous tenterons d'évaluer cette opinion de Clarke à la lumière de certains textes de Leibniz. En ce qui concerne la conception de l'inertie selon Kepler et celle selon Newton, il ne fait aucun doute que les propos de Clarke reflètent ici fidèlement la pensée de Newton. Ceci est confirmé par une note que Newton avait insérée sur un bout de papier dans son texte de la deuxième édition des *Philosophiae naturalis principia mathematica : « Non intelligo vim inertiae qua corpora ad quietem tendunt, sed vim manendi in eodem seu quiescendi seu movendi statu*[197]. » I. B Cohen ajoute que cette note confirme le fait que Newton connaissait, au moins après 1713, année de la publication de deuxième édition des *Philosophiae naturalis*

[196] *Ibid.* p. 204.
[197] Cité dans I. B. Cohen, « Newton and Keplerian Inertia : an Echo of Newton's Controversy with Leibniz », dans *Science, Medicine and Society in the Renaissance*, New York, ed. A. Debus, 1972, p. 199.

principia mathematica, le concept d'inertie de Kepler et qu'il était parfaitement conscient de la différence qu'il y voyait avec son propre concept d'inertie. Leibniz, quant à lui, connaissait-il cette différence ? Nous pensons qu'il faut répondre par l'affirmative à cette question et nous tenterons de le démontrer dans la prochaine section. Mais auparavant, il importe de mentionner que la critique de Clarke a été reprise par quelques commentateurs de renom. Ainsi, Alexandre Koyré, dans ses *Études newtoniennes*, fait allusion à la nouvelle conception du mouvement qui est apparue au XVII^e^ siècle dans les textes de Descartes et dans ceux de Newton. Koyré considère que, grâce à Descartes, « [...] l'équivalence ontologique ou l'égale perfection du mouvement et du repos est au centre même de la nouvelle conception du mouvement, comme Newton le reconnaîtra tacitement en employant le terme cartésien *status*[198] ». Koyré ajoute : « C'est en outre, quelque chose que non seulement les contemporains de Descartes mais ceux aussi de Newton trouvèrent très difficile à admettre, ou même à comprendre ; ainsi ni Malebranche ni Leibniz ne furent capables de le saisir[199]. » Koyré précise sa pensée sur ce dernier point par une note : « Quant à Leibniz, Clarke ajoute à l'édition de sa polémique avec le « savant M. Leibniz » (voir *The Leibniz-Clarke Correspondence*, ed. by H. G. Alexander, [Manchester, Manchester University Press, 1956], p. 135) un long choix de citations tirées des œuvres de ce dernier qui montrent assez clairement que Leibniz n'avait jamais compris le principe d'inertie[200]. » Or, un coup d'œil rapide aux citations en question démontre que Leibniz a utilisé à plusieurs reprises dans ses textes la notion d'inertie naturelle, qu'il affirme être inspirée de Kepler; cependant, cet ensemble de citations ne prouve d'aucune façon qu'il n'a pas compris le principe d'inertie.

---

[198] Alexandre Koyré (1968), p. 102.
[199] *Ibid.*, p. 102.
[200] *Ibid.*, p. 143, n. 61.

Un autre auteur dont l'opinion se rapproche de celle de Koyré est I. B. Cohen. Ce dernier, dans son article « Newton and Keplerian Inertia : an Echo of Newton's Controversy with Leibniz », cite ce large extrait des *Essais de théodicée* :

> 380 [...] Kepler, Mathematicien moderne des plus excellents, a reconnu une espece d'imperfection dans la matiere, lors même qu'il n'y a point de mouvement dereglé :c'est ce qu'il appelle son *inertie naturelle*, qui luy donne une resistance au mouvement, par laquelle une plus grande masse reçoit moins de vitesse d'une même force. Il y a de la solidité dans cette remarque, & je m'en suis servi utilement cy dessus pour avoir une comparaison qui montrât comment l'imperfection originale des creatures donne des bornes à l'action du créateur, qui tend au bien. Mais comme la matiere est elle même un effect de Dieu, elle ne fournit qu'une comparaison et un exemple, et ne sauroit être la source du mal, et de l'imperfection[201].

À la suite de cette citation, Cohen ajoute : « [...] *there can be no doubt that "natural inertia", as conceived by Kepler, is said by Leibniz to be resistance to movement (hence a tendency to be at rest or to come to rest) and is not the Newtonian tendency to maintain a given state whether of rest or of movement, so long as the latter is uniform and rectilinear*[202] ». Selon Cohen, Leibniz affirme qu'une force est requise pour produire un mouvement plutôt qu'une accélération[203]. En conséquence, un mouvement en l'absence d'une force motrice devrait, suivant cette interprétation, atteindre un état de repos[204]. Avant de considérer plus attentivement les conditions de l'émergence de la notion d'inertie naturelle dans la physique de Leibniz, résumons le nœud de l'argumentation qui sous-tend toutes ces critiques adressées à Leibniz. Chez Kepler, la notion d'inertie est associée à celle de la résistance d'un corps au mouvement :

---

[201] GP, VI, 119.

[202] I. B. Cohen (1972) *loc. cit.*, p. 204.

[203] « *Leibniz appears to be saying that force produces motion, and not that force produces acceleration* [...] », *Ibid.*, p. 201.

[204] « *That is, Leibniz is using inertia in keplerian sense of a laziness in matter, an "inertness", a propensity of bodies to be at rest and to stay at rest (anywhere in the universe) unless a motive force acts upon them.* », *Ibid.*, p. 201.

> *Scilicet corpora planetarum in motu seu translatione sui circa Solem non sunt consideranda ut puncta mathematica, sed plane ut corpora materiata, et cum quodam quasi pondere hoc est, in quantum sunt praedita facultate renitendi motui extrinsecus illato pro mole corporis et densitate materiae. Nam quia omnis materia materiae ad quietem inclinat in loco illo in quo est, hinc adeo fit, ut virtus Solis motoria pugnet cum hac inertia materiae* [...][205]

La référence à la théorie aristotélicienne des lieux naturels laisse voir l'origine de cette notion d'inertie qui, chez Kepler, se traduit par une résistance au mouvement et une tendance au repos. En conséquence, une force extérieure est requise pour maintenir un objet en mouvement. C'est ce qui fait conclure à Koyré que Kepler ignore la loi de l'inertie. Koyré ajoute : « Pour lui [Kepler] le terme *inertie* — c'est lui qui l'a inventé, ou du moins introduit dans la science — veut dire : *résistance au mouvement*, et non, comme pour nous, maintien, indifféremment, d'un *état de mouvement* ou *de repos* et résistance au changement de l'un à l'autre. Aussi, pour lui, la persistance du mouvement, sur terre autant que dans les cieux, implique l'action constante d'une force (d'un moteur) sur le mobile [...][206] ». Nous verrons dans la prochaine section qu'une telle conception est très éloignée de celle que Leibniz présente dans ses écrits sur la physique et même dans ses écrits qui traitent davantage de métaphysique.

---

[205] Johannes Kepler, *Joannis Kepleri, astronomi Opera omnia*, Vol. I, éditeur scientifique Christian Frisch, 1995, Publication Num. BNF de l'édition de Frankofurti:Heyder; Erlangae: Simmer, 1858, Notice n° : FRBNF37277548, p. 161, « Car les corps des planètes en mouvement ou dans leur translation autour du soleil ne sont pas considérés comme des points mathématiques, mais entièrement comme des points matériels, c'est-à-dire avec une sorte de poids, dans la mesure où ils sont pourvus d'une faculté de résister à un mouvement imposé de l'extérieur qui est proportionnelle à la masse du corps et à la densité de matière. En effet, puisque toute matière incline au repos dans le lieu dans lequel elle est, il en résulte que la force motrice du Soleil combat cette inertie de la matière [...] », voir aussi le passage suivant de Kepler tiré du *Epitome astronomiae copernicanae* : « *Etsi globus aliquis* [...] *habet naturalem inertiam seu quietem, qua quiescit in omni loco, ubi solitatius collocatur.* », dans *Joannis Kepleri, astronomi Opera omnia*, Vol. VI, p. 341.

[206] A. Koyré, (1968), p. 15.

2. L'origine de la notion d'inertie naturelle dans la physique de Leibniz

La notion d'inertie naturelle apparaît relativement tard dans les écrits de Leibniz consacrés à la physique. En effet, aucune mention n'en est faite dans les œuvres de jeunesse comme l'*Hypothesis physica nova, seu Theoria motus concreti* (1671) et la *Theoria motus abstracti* (1671), elle n'apparaît pas non plus dans le *De corporum concursu*, écrit en 1678. L'apparition de cette notion dans l'œuvre de Leibniz, sous une forme officielle, a eu lieu en 1691, mais il est nécessaire de chercher avant cette date les conditions de son émergence. Considérons d'abord la *Theoria motus abstracti* qui pourrait servir de point de départ pour suivre le cheminement de la pensée de Leibniz sur le sujet. Duchesneau résume de la façon suivante le projet de Leibniz dans cette œuvre de jeunesse : « Dans la *Theoria motus abstracti* (1671), Leibniz projette de fonder une *phoronomia elementalis* qui, à l'instar de la géométrie, puisse développer de façon rationnelle et abstraite, les lois de la mécanique générale. En particulier, cette *phoronomia* doit formuler les règles du choc dans leur plus grande généralité, sans partir des phénomènes physiques tels que les révèle l'expérience[207]. » Ces règles du choc seront déduites à partir des axiomes de la géométrie et à partir des propriétés géométriques des corps, telles que l'étendue. Or, précisément, une des règles qui apparaît dans ce texte sera qualifiée plus tard d'erreur par Leibniz lui-même et l'amènera à réviser sa pensée sur ce qui constitue l'essence des corps. En effet, il ajoutera par la suite à l'étendue et à l'impénétrabilité qui en constituaient jusqu'alors l'essence cette notion d'inertie naturelle. Cette règle erronée est présentée dans la proposition fondamentale 20 de la *Theoria motus abstracti*: « Un corps qui est mû, imprime à un autre, sans diminution de son propre mouvement, ce que cet autre peut recevoir sans perdre de

---

[207] F. Duchesneau (1994), p. 38.

son mouvement antérieur[208]. » Or, quelques années plus tard, en 1678, Leibniz corrige cette erreur en rédigeant le *De corporum concursu*, dans lequel il obtient la solution générale du problème du choc direct de deux corps. Pourtant, dans ce texte où sont reformulés les fondements conceptuels qui conduisent à la solution du problème du choc, la notion d'inertie naturelle n'intervient encore d'aucune façon[209]. Il est possible d'affirmer que Leibniz a commencé à s'intéresser à cette notion d'inertie naturelle dans les années 1676-1680, à partir de ses lectures de Kepler et de Descartes et à partir de discussions qu'il a probablement eues avec Claude Perrault lors de son séjour à Paris de 1672 à 1676. En effet, dans le *Phoranomus seu De potentia et legibus naturae*, texte dans lequel il fait un retour sur la période précédente, Leibniz fait allusion à la notion d'inertie naturelle telle qu'elle apparaît dans le livre de Claude Perrault, *Essais de physique*, publié en 1680 et il ajoute un commentaire très intéressant dans lequel il donne sa propre interprétation de la façon dont il faut concevoir cette notion. Considérons d'abord les passages pertinents du livre de Perrault et par la suite nous pourrons mieux apprécier les commentaires qu'en fait Leibniz. Au chapitre 2 de son livre, Perrault émet certaines hypothèses pour expliquer les causes de la pesanteur. La troisième de ces hypothèses porte sur la répugnance naturelle au mouvement qu'ont les corps :

> La troisième supposition est, que les corps qui ne sont pas naturellement agités par un principe interne de mouvement, ainsi que le corps Etheré l'est, sont naturellement dans un état qui n'est point indifférent au mouvement & au repos, mais qui a plus d'inclination au repos qu'au mouvement, auquel ils résistent de leur

---

[208] GP, IV, 71

[209] Dans l'introduction à l'étude qu'il consacre au *De corporum concursu*, Fichant remarque que la métaphysique de Leibniz, telle qu'elle était dans son esprit en 1678, n'aurait pu lui interdire l'accès aux nouvelles règles du choc. Il écrit à ce propos : « [...] l'accord qui s'établira plus tard entre la dynamique de la puissance et de l'action et la métaphysique de la substance individuelle et de l'harmonie universelle ne correspondra non plus ni à une nécessité logique d'implication ni au développement d'une connaturalité originelle d'inspiration. Il s'agit bien d'une invention philosophique. », dans M. Fichant, *La réforme de la dynamique*, Paris, Vrin, 1994, p. 64.

> nature ; & que par conséquent ils ne sont pas emportés par le corps qui les pousse, avec la vitesse que ce corps a lorsqu'il les pousse[210].

Par la suite, Perrault ajoute certaines expériences pour appuyer cette hypothèse. Retenons deux de ces expériences pour illustrer notre propos :

> La première expérience est celle des balances ; car on sait qu'elles ont un trait plus fort à proportion qu'elles sont plus chargées, c'est-à-dire, que les balances qui étant chargées également, par exemple d'une livre de chaque côté, & que l'on fait trébucher avec dix grains, ne pourront trébucher étant chargées de vingt livres : car l'Equilibre étant dans les deux cas, la pesanteur ne doit point être considérée ; & il semble que la raison par laquelle les dix grains qui font trébucher la balance chargée d'une livre, ne le font pas lorsqu'elle est chargée de vingt, n'est autre que la répugnance que les corps ont au mouvement [...]
>
> La troisième expérience est celle de deux bateaux que le courant d'une rivière emporte & dont l'un est beaucoup plus chargé que l'autre; car alors il arrive que le moins chargé va le plus vite, quoi qu'enfonçant moins dans l'eau, il donne moins de prise à la puissance qui les remue tous deux : En sorte qu'il y a apparence que c'est la répugnance des corps dont le bateau est chargé qui retarde son mouvement, & non la résistance de l'eau dans laquelle le bateau le plus chargé enfonce d'avantage[211].

Trois éléments ressortent de ces courts extraits du texte de Perrault. En premier lieu, cette notion de répugnance naturelle au mouvement qu'ont les corps, selon Perrault, est nettement d'inspiration keplerienne ; cependant, Perrault n'affirme pas, à la différence de Kepler, que les corps doivent être soumis à une force extérieure pour se maintenir en mouvement. En second lieu, l'expérience des bateaux que mentionne Perrault pour appuyer son hypothèse est d'inspiration cartésienne. Pour s'en convaincre et pour voir par le fait même le lien que Descartes lui-même faisait entre cet exemple et la notion d'inertie naturelle, considérons d'abord cet extrait d'une lettre qu'il adressait à Mersenne en décembre 1638 :

> Je ne reconnais aucune Inertie ou tardivité naturelle dans les corps, non plus que M. Mydorge, et crois que, lors seulement qu'un homme se promène, il fait tant soit peu

---

[210] C. Perrault, *Essais de physique ou Recueil de plusieurs traitez touchant les choses naturelles*, Reproduction num. BNF de l'éd. de Paris, J.-B. Coignard, 1680, Notice nº FRBHF37296613, p. 92-94

[211] *Ibid.*, p. 93-100.

> mouvoir toute la surface de la terre, à cause qu'il en charge maintenant un endroit, & après un autre. Mais je ne laisse pas d'accorder à M. de Beaune, que les plus grands corps, étant poussés par une même force, comme les plus grands bateaux par un même vent, se meuvent toujours plus lentement que les autres ; ce qui serait peut-être assez établir les raisons, sans avoir recours à cette inertie naturelle qui ne peut aucunement être prouvée[212].

À la lecture de cette lettre, on peut se demander comment Descartes peut concilier les deux assertions, d'une part que les corps n'ont pas d'inertie et, d'autre part, que les corps les plus grands se déplacent plus lentement que les corps petits sous l'action d'une même force. Une partie de la réponse est sans doute apportée par le contenu d'une lettre à M. de Beaune, datée du 30 avril 1639. Dans cette lettre, Descartes est plus nuancé et consent à reconnaître une sorte d'inertie naturelle dans la matière :

> Et pour ce que, si deux corps inégaux reçoivent autant de mouvement l'un que l'autre, cette pareille quantité de mouvement ne donne pas tant de vitesse au plus grand qu'au plus petit, on peut dire, en ce sens, que plus un corps contient de matière, plus il a d'*Inertie naturelle* ; à quoi on peut ajouter qu'un corps, qui est grand, peut mieux transférer son mouvement aux autres corps, qu'un petit, & qu'il peut moins être mû par eux. De façon qu'il y a une sorte d'*Inertie*, qui dépend de la quantité de matière, & une autre qui dépend de l'étendue de ses superficies[213].

Bien que la position de Descartes ne soit pas absente d'une certaine ambiguïté, on peut observer deux faits de ces passages. En premier lieu, Descartes ne reconnaît pas aux corps de résistance au mouvement ou de tendance au repos, comme chez Kepler. En second lieu, Descartes établit un lien entre la vitesse acquise par un corps que l'on met en mouvement et la quantité de matière de ce corps : plus la quantité de matière est grande, plus petite est la vitesse et vice versa. C'est donc seulement en relation à cette quantité de matière que Descartes consent à faire usage du concept d'inertie naturelle. Cet exemple des bateaux proposé par Descartes pour expliquer la notion d'inertie naturelle, qui est repris par Perrault

[212] A & T, II, p. 466-467.
[213] *Ibid.*, p. 543-544.

dans son livre, est utilisé à quelques reprises par Leibniz pour expliquer sa propre conception de l'inertie naturelle.

Le troisième élément qui doit être mis en relief dans le texte de Perrault est qu'une conséquence de cette répugnance naturelle des corps au mouvement réside dans le fait qu'un corps en mouvement ne saurait en mettre un autre en mouvement sans perdre de sa vitesse. Or, c'est à peu près à cette époque[214] que Leibniz commence d'affirmer s'être trompé dans la *Theoria motus abstracti*, alors qu'il affirmait qu'un corps en mouvement peut mettre en mouvement un autre corps au repos sans perdre de son mouvement. De fait, Leibniz à partir de ce moment reprend la même argumentation que Perrault pour justifier cette règle du choc. Nous le démontrerons à partir de certains écrits de Leibniz, mais considérons d'abord le commentaire que donne Leibniz du texte de Perrault. On constate que pour Leibniz l'inertie naturelle d'un corps ne consiste pas en une simple résistance à tout mouvement, mais plutôt en une résistance à un changement d'état de mouvement. L'extrait du *Phoranomus seu De potentia et legibus naturae* est sous la forme d'un dialogue entre Auzout et Lubinianus :

> [A] Nous expérimentons quelque chose de semblable dans ce que les français appellent le trait de la balance. En effet, la balance chargée de grands poids qui reposent en équilibre, ne s'écarte pas de l'équilibre lorsqu'on ajoute un petit poids.
>
> [Lub.] Claude Perrault examina cet argument dans ses *Essais de Physique* et il semble qu'il incline de cela que l'inertie de la matière est ce par quoi les corps

---

[214] De fait, même si les *Essais de physique* de Claude Perrault ont été publiés en 1680, on peut présumer que Leibniz connaissait les opinions de Perrault sur le sujet bien avant la parution de l'ouvrage, puisque dans une lettre à Perrault écrite au début de 1676, il donne son opinion sur les passages cités plus haut :« J'ai lu avec soin le discours que vous m'avez communiqué des causes de la pesanteur [...] Pour ce qui est de la supposition suivante (qui est la troisième de votre discours) à savoir que les corps ont quelque répugnance au mouvement ; j'en demeure d'accord de la manière suivante, savoir que de deux corps poussés par une même force, celui qui est plus solide ou qui contient plus de matière ira plus lentement. L'expérience en est manifeste, quoique je ne sache personne qui en ait donné la démonstration aussi bien que de quelques autres secrets du mouvement qu'il me semble que j'entrevois, et qui me paraissent tout à fait démontrables. Cependant il me semble que l'exemple du trait des balances ne convient pas entièrement à l'idée que je crois qu'on doit avoir de la résistance des corps au mouvement ; puisque leur grandeur n'empêche pas le mouvement, mais en diminue seulement la vitesse. Ainsi je crois que cette difficulté du trait se doit réduire à des causes externes tant du frottement du pivot, que de la résistance de l'air [...] » A, II, 1, 262-264.

> résistent à tout mouvement. Mais, si le milieu ne l'empêche pas, il est certain et il sera clairement démontré ci-dessus qu'un corps au repos peut être mû si faiblement que ce soit. Et l'inertie de la matière ne consiste pas en ce qu'elle répugne à tout mouvement, mais en ce qu'elle reçoit une vitesse moindre lorsque la matière qui reçoit le mouvement est plus grande. En réalité, si le corps résistait à tout mouvement, un corps quelconque A très grand au repos ne recevrait aucune impression d'un corps B en mouvement avec une vitesse V, il aurait une résistance infinie et ne saurait d'aucune manière être mis en mouvement par le corps B ; de cette manière, on ne pourrait expliquer quelle quantité il faut attribuer à un corps B se déplaçant avec une vitesse V pour qu'elle soit suffisante à mettre en mouvement le corps A[215].

On reconnaît dans l'affirmation de Auzout, l'expérience de la balance invoquée par Perrault pour appuyer la supposition qu'il faisait que les corps ont une résistance au mouvement. L'opinion qu'exprime Leibniz à travers le témoignage de Lubinianus laisse voir que cette notion d'inertie de la matière ne saurait être utilisée dans toutes les circonstances, comme par exemple dans celle de la balance, mais qu'elle doit être utilisée plutôt pour expliquer le comportement des corps lors d'une collision. C'est donc dans cette circonstance particulière qu'il faut voir, nous semble-t-il, l'apparition de la notion d'inertie naturelle dans la physique de Leibniz. Il est possible d'observer par la même occasion que l'interprétation que donne Leibniz du rôle de l'inertie dans le type de collision considéré ci-dessus diffère de celle de Descartes, puisque ce dernier affirmait dans sa quatrième règle du choc qu'un corps C au repos et plus grand que B, ne peut être mis en mouvement par B quelle que soit la vitesse de celui-ci. Le texte de Perrault et les commentaires qu'y apporte Leibniz dans le *Phoranomus seu De potentia et legibus naturae* ou dans la lettre à Perrault du début de 1676 permettent donc d'identifier les trois sources qui sont à l'origine de cette notion d'inertie naturelle dans la physique de Leibniz, soit Kepler, Descartes et Perrault lui-même.

---

[215] « Phoranomus seu De potentia et legibus naturae. Dialogus I. », *Physis* 28, p. 486. Leibniz reprend essentiellement les mêmes propos dans *Dynamica de potentia* :« La balance en effet lorsqu'elle repose en équilibre avec des grands poids ne ressent pas l'ajout d'un quelconque petit poids, ce que Claude Perrault dans les essais de physique a attribué particulièrement à l'inertie de la matière. Mais cela fait seulement qu'un corps plus grand est mu avec une vitesse plus faible et non qu'il n'est pas mu du tout lorsqu'il y a une impulsion plus petite. », GM, VI, 398-399.

Ainsi, dans les textes de la maturité, Leibniz reviendra en plusieurs occasions sur cette notion d'inertie naturelle en y associant étroitement les noms de Kepler et Descartes :

i) dans une lettre à De Volder, 24 mars/3avril1699 : « *Inertiam in materia alicubi, exemplo Kepleri, et Cartesium in Epistolis agnovisse notavi*[216]. »

ii) dans les *Nouveaux essais sur l'entendement humain* : « La première est ce que j'appelle inertie après Kepler et Descartes, qui fait que la matière résiste au mouvement, et qu'il faut perdre de la force pour remuer un corps, quand il n'y aurait ni pesanteur, ni attachement[217]. »

iii) dans les *Essais de Théodicée* : << Le célèbre Kepler et après lui M. Descartes (dans ses *Lettres*) ont parlé de l'*inertie naturelle des corps,* [...][218] ».

iv) dans la correspondance avec Clarke : « Cette INERTIE mise en avant et nommée par Kepler, et répétée par des Cartes, >DANS SES LETTRES< et que j'ay employée dans la Théodicée pour donner une image >et en même temps un échantillon< de l'imperfection naturelle des créatures ; fait seulement que les vitesses sont diminuées, quand les matières sont augmentées, mais c'est sans aucune diminution des forces[219]. »

Si les extraits précédents des textes de Leibniz permettent d'identifier les sources de son inspiration en ce qui concerne la notion d'inertie naturelle, il est nécessaire de préciser que la conception leibnizienne de l'inertie naturelle ne saurait être réduite à celle de ceux qui l'ont inspirée. Ainsi, Leibniz retient de Kepler l'idée que les corps ont une résistance naturelle au mouvement, mais nulle part dans les écrits de Leibniz on ne retrouvera l'idée qu'une force extérieure est requise pour maintenir un corps en mouvement. De même,

[216] GP, II, 170.
[217] GP, V, 111.
[218] GP, VI, 119.
[219] GP, VII, 414.

Leibniz puise dans les lettres de Descartes l'idée qu'un corps au repos qui subit un choc se déplacera d'autant plus vite que sa masse est plus petite, tout en critiquant par ailleurs les règles du choc présentées par Descartes. En ce qui concerne Perrault, Leibniz a sans aucun doute retenu de ses *Essais de physique* l'idée qu'un corps n'est pas indifférent au repos et au mouvement, puisqu'il offre une résistance au mouvement lorsqu'un autre corps qui le frappe voit sa vitesse diminuer. Cependant, dans ce court extrait tiré du *Phoranomus seu de potentia et legibus naturae*, que nous avons cité dans les pages précédentes, Leibniz prend ses distances par rapport à Perrault en affirmant clairement par la voix de Lubinianus que la notion d'inertie naturelle ne saurait être associée à l'idée de résistance à tout mouvement. En conclusion, on peut présumer que Leibniz a probablement pris connaissance de cette notion d'inertie naturelle dans les années 1676-1680 grâce à ses lectures de Kepler, Descartes et Claude Perrault. Il reste à voir comment il a effectivement intégré cette notion dans sa physique.

3. L'introduction de la notion d'inertie naturelle dans la physique de Leibniz

Il est possible d'observer l'introduction de cette notion d'inertie naturelle dans la physique de Leibniz à partir d'un texte écrit dans les années 1678-1680, soit peu de temps après qu'il a achevé ce qu'il a appelé la *Reformatio*, c'est-à-dire la substitution du principe de la conservation de la quantité de mouvement lors d'une collision par un principe de conservation des forces vives (mv^2). Cette *reformatio* apparaît dans le *De corporum concursu*, où sont regroupés un certain nombre de feuillets qui témoignent des efforts de Leibniz en vue d'obtenir des règles du choc qui soient conformes aux données de l'expérience. Nous commenterons un peu plus certains éléments du *De corporum concursu*, mais auparavant il est nécessaire de jeter un coup d'œil sur un écrit de Leibniz qui porte comme titre « *Principia mechanica ex metaphysicis dependere* », dans lequel l'auteur se livre à une réflexion fort intéressante sur les erreurs de sa première physique dans l'évaluation des règles du choc. Faisant un retour sur cette physique qui s'appuyait sur les propriétés géométriques des corps, Leibniz insiste maintenant sur la nécessité d'aller au-delà de ces considérations purement géométriques des corps, si l'on veut bien comprendre les nouvelles règles du choc. Ce constat est posé dès le début de l'exposé :

> Il fut un temps où je croyais que tous les phénomènes du mouvement peuvent être expliqués par des principes purement géométriques, en ne supposant aucune proposition métaphysique, de sorte que les lois du choc dépendent seulement de la composition des mouvements ; mais après une profonde réflexion je découvris que cela est impossible et j'appris une vérité plus grande que toute la mécanique, à savoir que tout dans la nature peut être expliqué mécaniquement, mais que ces principes mécaniques eux-mêmes dépendent de principes métaphysiques et même moraux, c'est-à-dire des causes efficientes et finales, œuvres de la perfection de Dieu ; mais ils ne peuvent d'aucune façon dépendre de la seule composition aveugle des mouvements[220].

On retrouve dans cet extrait l'une des grandes thèses de la philosophie de Leibniz qu'il développera en plusieurs occasions par la suite, à savoir que tout dans la nature s'explique par la mécanique, mais que la mécanique elle-même doit s'appuyer sur des principes métaphysiques qui découlent tous, en dernière analyse, du principe de raison suffisante. Dans la suite du texte, Leibniz tente d'expliquer la nature de ses propos à partir d'exemples de collisions des corps. La partie la plus intéressante de son exposé porte sans aucun doute sur la règle du choc erronée qu'il avait présentée dans la *Theoria motus abstracti*. À ce propos, Leibniz rappelle que si l'on ne considère dans les corps que l'étendue et l'impénétrabilité, c'est-à-dire le fait qu'un corps remplit une portion de l'espace, alors on doit conclure qu'un corps A se déplaçant en ligne droite vers un corps B au repos, continue à se déplacer après le choc, en entraînant avec lui le corps B, avec la même vitesse qu'il avait avant le choc. Leibniz ajoute que rien n'empêche une telle situation de se produire si

[220] A, VI, 4, C, 1976

le corps B initialement au repos est indifférent au fait de recevoir un mouvement quelconque[221]. Or, à la suite de ces commentaires qui rappellent la position qu'il avait prise dans la *Theoria motus abstracti*, Leibniz souligne la nécessité de modifier cette conception de la nature des corps, en introduisant cette idée de résistance au mouvement, pour pouvoir expliquer correctement des règles du choc qui soient plus conformes aux données de l'expérience que ne l'étaient les précédentes :

> En effet dire que la matière résiste au mouvement, et que l'ensemble composé de A et B se déplace maintenant plus lentement que ne le faisait A avant la collision, revient à affirmer qu'il y a quelque chose qui ne peut pas être déduit de la nature d'un corps simple et du mouvement, que nous avons supposée ci-dessus, si dans cette nature du corps nous nous ne supposons rien d'autre que le fait de remplir l'espace ou de changer d'espace[222].

Vers la fin de son écrit, Leibniz fait allusion aux lois abstraites du mouvement qu'il avait données dans la *Theoria motus abstracti* et considère qu'elles sont inacceptables dans le monde concret, puisqu'elles contreviennent au principe de l'équivalence de la cause et de l'effet. Il mentionne alors, pour une des premières fois dans ses écrits sur la physique, l'existence d'une inertie des corps qui puisse rendre compte du comportement des corps réels :

> De plus, même si mes conclusions avaient été obtenues pour l'état des corps en dehors d'un système, comme si ces corps étaient pour ainsi dire à l'état brut, de sorte que le plus grand corps au repos serait entraîné par le corps le plus petit avec la même vitesse qu'avait le plus petit, je pensai que dans un système organisé, c'est-à-dire par rapport aux corps autour de nous, une telle chose serait absurde, puisque la plus petite action produirait le plus grand désordre, et je pensai qu'un tel effet serait empêché de plusieurs façons. En effet, les corps sont pourvus d'élasticité et sont flexibles, et souvent une partie d'un corps est entraînée sans que le tout le soit. Lorsque je réfléchis sur la façon dont on peut trouver une quelconque raison de ce que nous expérimentons partout dans l'univers, qu'une masse augmentée voit sa vitesse diminuer, comme par exemple lorsque nous voyons un navire avancer plus

---

[221] « *Et is conatus successum habebit plenum, atque A quidem eadem celeritate perget, B autem post concursum eadem celeritate et directione movebitur, qua A venerat ; si modo nihil obstet ; nihil autem obstat, si corpus B ante concursum ponatur esse in quiete sive indifferens ad quemlibet motum recipiendum.* », *ibid.*, p. 1977.

[222] *Ibid.*, p. 1977-1978.

> lentement sur un fleuve lorsqu'il est plus chargé, je cessai et, tous mes efforts ayant été vains, je découvris que ce qu'on peut appeler cette inertie des corps (*hanc ut ita dicam inertiam corporum*) ne peut pas être déduite à partir des seuls principes de matière et de mouvement, où la matière est comprise comme ce qui est étendu ou ce qui remplit l'espace, le mouvement comme un changement d'espace ou de lieu. Mais plutôt, en plus de ce qui peut être déduit à partir de l'étendue et de sa variation ou sa modification, il faut ajouter et reconnaître qu'il existe dans les corps certaines entités ou formes pour ainsi dire immatérielles ou indépendantes de l'étendue que l'on peut appeler puissances, par lesquelles la vitesse s'ajuste à la grandeur. Ces puissances ne consistent pas dans le mouvement, en effet, pas dans le *conatus* ou le début de mouvement, mais dans la cause ou raison intrinsèque du mouvement, qui est la loi requise pour la continuation[223].

La totalité de ce texte dans lequel Leibniz porte un regard critique sur le problème du choc des corps est intéressante à plusieurs points de vue. Nous nous limiterons à le considérer sous l'angle d'un double changement d'orientation dans la physique de Leibniz. En premier lieu, on y observe le passage d'une conception de la physique, en particulier du problème du choc traité de façon purement mathématique, construite à partir des seules propriétés géométriques des corps à une conception qui est plus près des données de l'expérience. Certes, un tel changement apparaissait déjà dans les feuillets du *De corporu concursum*, mais il est formulé ici de façon explicite et il conduit Leibniz à formuler des principes métaphysiques qui puissent en révéler l'ordre des raisons. La première moitié du texte est consacrée à l'examen des règles de collision qu'il avait proposées antérieurement, alors qu'il présente dans la deuxième moitié des règles plus conformes à ce qui existe dans la réalité. D'ailleurs, dans une lettre à Foucher, écrite vers 1692, Leibniz résumera ce changement d'orientation :

> Il est vray que j'avois fait deux petits discours il y a vingt ans, l'un de la Theorie du mouvement abstait, où je l'avois considéré hors du systeme comme si c'estoit une chose purement mathematique, l'autre de l'Hypothese du mouvement concret et systematique, tel qu'il se rencontre effectivement dans la nature [...] Les loix du mouvement abstrait que j'avois données alors devroient avoir lieu effectivement, si dans le corps il n'y avoit autre chose que ce qu'on y conçoit selon Des Cartes, et même selon Gassendi. Mai comme j'ay trouvé que la nature en use tout autrement à

---

[223] *Ibid.*, p. 1980.

> l'egard du mouvement, c'est un de mes argumens contre la notion receue de la nature du corps, comme j'ay indiqué dans le journal[224].

Le deuxième changement d'orientation découle du premier et apparaît clairement dans la conclusion du texte « *Principia mechanica ex metaphysicis dependere* » et dans la lettre à Foucher, c'est celui par lequel Leibniz est amené à modifier ce qu'on peut appeler la métaphysique des corps. Or, cet élément doit être mis en relief, car dans les feuillets du *De corporu concursum,* Leibniz avait présenté de nouvelles règles du choc sans pour cela modifier la métaphysique des corps[225]. À cet égard, il est intéressant de suivre le cheminement de la pensée de Leibniz tel qu'il apparaît dans ce texte. On constate que tout comme dans les *Essais de physique* de Claude Perrault, Leibniz fait allusion à la résistance qu'ont les corps au mouvement, au fait qu'un corps ne saurait en entraîner un autre sans que sa vitesse soit diminuée et il mentionne même l'exemple des bateaux chargés qui sont en mouvement sur un fleuve, mais il ajoute une dimension importante qui n'apparaissait pas chez Perrault, Descartes ou Kepler, à savoir cette idée qu'il existe dans les corps « des formes immatérielles ou indépendantes de l'étendue » qui expliquent cette inertie des corps. En d'autres mots, c'est le besoin non seulement d'expliquer le comportement des corps à travers des règles du choc qui soient conformes à ce qui est observé dans la nature, mais aussi le besoin de rendre raison de ces règles elles-mêmes, qui a sans doute poussé Leibniz à modifier la métaphysique des corps en y ajoutant en premier lieu cette notion d'inertie

---

[224] GP, I, 415. Leibniz fait sans doute allusion ici au texte qu'il vient de publier dans le *Journal des Savants*, du 18 juin 1691. Nous résumons dans la section suivante les éléments importants de ce texte.
[225] Cette position est défendue par Michel Fichant dans "La réforme" leibnizienne de la dynamique, in *Akten des II. Int. LeibnizKongresses 1972*, *Studia Leibnitiana Supplementa*, vol. XIII (1974), p. 207 : « Pour notre propre compte, nous tirerons provisoirement la conclusion que l'établissement de l'estimation de la force comme mv^2, s'accomplit en toute indépendance de l'élaboration du concept métaphysique de substance. » voir aussi dans *La réforme de la dynamique. De corporum concursu (1678) et autres textes inédits*, Librairie philosophique J. Vrin, Paris, 1994, p. 64 : « Ce n'était pas la métaphysique de Leibniz, telle qu'elle était constituée dans son esprit en 1678, qui aurait pu lui interdire d'accéder aux nouvelles formulations des lois du mouvement, et celles-ci n'impliquaient en aucune façon une réforme consécutive nécessaire de la philosophie première.»

naturelle et d'autres notions qui la complèteront par la suite. Dans cette perspective, il est nécessaire de considérer ne serait-ce que brièvement l'introduction de cette notion dans sa métaphysique.

4. La notion d'inertie naturelle dans la métaphysique de Leibniz

Ce n'est qu'en 1691, semble-t-il, que cette notion d'inertie naturelle apparaît officiellement pour la première fois, du moins sous la forme explicite où elle est présentée comme une qualité essentielle des corps. L'introduction de la notion d'inertie naturelle est faite à partir de considérations métaphysiques pour aider à comprendre le problème de la collision entre deux corps, mentionné précédemment. Un aperçu du contexte aide à suivre le cheminement de la pensée de Leibniz sur le sujet. Dans une lettre écrite au début de l'année 1691, Alberti interrogeait Leibniz sur les raisons qu'il avait de ne pas croire que l'essence des corps consiste dans la longueur, la largeur et la profondeur. Dans sa réponse, qu'il jugea bon de publier dans le *Journal des Savants* du 18 juin 1691, Leibniz écrit :

> Vous me demandez, Monsieur, les raisons que j'ai de croire que l'Idée du Corps ou de la matière est autre que celle de l'étendue [...] Si l'essence du corps consistait dans l'étendue, cette étendue seule devrait suffire pour rendre raison de toutes les affections du corps : mais cela n'est point. Nous remarquons dans la matière une qualité, que quelques-uns ont appelée l'*Inertie Naturelle*, par laquelle le corps résiste en quelque façon au mouvement, en sorte qu'il faut employer quelque force pour l'y mettre (faisant abstraction de la pesanteur) et qu'un grand corps est plus difficilement ébranlé qu'un petit corps[226].

Dans cet écrit de 1691, Leibniz reprend la même idée que dans les textes des années antérieures où il affirmait que la nature des corps ne se limite pas à la seule étendue, mais il va beaucoup plus loin en proposant cette notion d'inertie naturelle inhérente aux corps et en

---

[226] GP, IV, 467.

en précisant le rôle. Il justifie sa proposition en considérant de nouveau l'exemple de la collision de deux corps à la lumière des résultats de l'expérience.

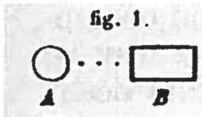


Fig 9.—. *Collision d'un corps A avec un corps B au repos*

Source : GP, IV, 464.

> Si le corps A en mouvement rencontre le corps B en repos, il est clair que si le corps B était indifférent au mouvement ou au repos, il se laisserait pousser par le corps A, sans lui résister et sans diminuer la vitesse ou changer la direction du corps A; et après le concours, A continuerait son chemin et B irait avec lui de compagnie, en le devançant. Mais il n'en est pas ainsi dans la nature [...] [227]

Leibniz reprend la règle du choc erronée qu'il avait énoncée dans la *Theoria motus abstracti* et exprime la nécessité de la réviser pour la rendre plus compatible avec les résultats de l'expérience. Cette considération l'amène à pousser plus loin sa réflexion sur l'essence des corps en y ajoutant une qualité qui n'y était pas présente auparavant, soit celle de l'inertie naturelle. Celle-ci est définie comme une résistance au mouvement inhérente à la nature même des corps. Cependant, la nécessité d'élaborer une physique qui soit plus compatible avec l'expérience n'est pas la seule motivation, ni même la plus importante, qui a amené Leibniz à réviser ses règles du choc et à proposer cette notion d'inertie naturelle. En effet, on se rappellera que Leibniz, en poursuivant sa réflexion sur les lois du choc dans les années qui ont suivi la publication de la *Theoria motus abstracti*, découvrit vers 1677 un principe métaphysique important qui, à partir de ce moment, joua un rôle primordial dans l'élaboration de toute sa physique, soit le principe d'équivalence de la cause et de l'effet suivant lequel « L'effet entier est toujours égal à sa cause pleine ». C'est donc poussé par le besoin de réconcilier la théorie avec l'expérience et la nécessité de satisfaire à ce principe métaphysique que Leibniz a été amené à modifier les lois du choc qu'il avait énoncées au

[227] GP, IV, 464.

départ et à chercher des causes du comportement des corps qui soient non purement mathématiques, mais qui relèvent aussi de la métaphysique. Dans ce contexte, l'inertie naturelle représente le chaînon manquant entre le principe métaphysique de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier et les lois du choc qui se concrétisent dans les données de l'expérience. Elle constitue en quelque sorte une raison métaphysique au comportement des corps. C'est du moins en ce sens que l'on peut lire les propos que tient Leibniz à Rémond dans une lettre de février 1715. Parlant de l'inertie de la matière, il affirme : « Il faut qu'il paroisse que la matiere est une chose qui resiste au mouvement, et qu'un corps en mouvement ou en force ne puisse pas en donner à un grand en repos, sans perdre de la sienne; autrement l'effect surpasseroit sa cause, c'est-à-dire, dans l'état suivant il y auroit plus de force que dans l'état precedent; ainsi il paroit que la matiere est une chose qui resiste au mouvement qu'on tache de luy donner[228]. » D'une part, l'observation des phénomènes enseigne qu'un corps en mouvement ne saurait mettre en mouvement un autre corps sans perdre de sa vitesse, d'autre part, ce résultat s'explique très bien à partir du principe d'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier, mais lorsqu'on tente de rendre raison de ce comportement des corps à partir de la seule notion de l'étendue qui constituait jusqu'alors la nature des corps, on arrive à une impasse. En ce sens, la notion d'inertie naturelle constitue un ajout à la métaphysique de la substance individuelle qui vient combler un vide ; elle est une invention philosophique, utile au plan métaphysique, utile mais pas nécessaire au plan de la physique. Par ailleurs, cet ajout de l'inertie naturelle ne saurait à lui seul constituer une description complète de l'essence des corps, puisque à cette notion de résistance au mouvement inhérente aux corps, il était nécessaire d'ajouter un principe opposé qui en assure la possibilité. Voilà pourquoi sans doute, Leibniz, un peu

---

[228] GP, III, 636.

plus loin dans cette lettre de 1691, adressée à Alberti, ajoute une autre notion supérieure ou métaphysique à l'essence des corps, soit celle d'action ou de force, mais sans donner pour l'instant beaucoup d'information sur la nature de cette force et sur son rapport avec l'inertie naturelle mentionnée précédemment.

Or, dans une lettre à Pélisson, datée de juillet 1691, il apporte des précisions intéressantes qui éclairent quelque peu ce problème de la coexistence d'une force active et d'une force passive au sein d'une même substance et qui laissent entrevoir les principes métaphysiques sur lesquels s'élaborera sa dynamique :

> Lors donc qu'on dit que la force primitive fait la substance des corps, on entend leur nature ou essence. Aussi, Aristote dit que la nature est le principe du mouvement et du repos, et la force primitive n'est autre chose que ce principe dans chaque corps dont naissent toutes ses actions et passions. Je considère la matière comme le premier principe intérieur de la passion et de la résistance, et c'est par là que les corps sont naturellement impénétrables et la forme substantielle n'est autre chose que le premier principe intérieur de l'action εντελεχεια η πρωτη[229].

La notion de résistance, on le constate, est étroitement associée à un principe métaphysique qui assure la possibilité du mouvement des corps. Pour bien comprendre la portée de ces ajouts que fait Leibniz à l'ontologie des corps, il est nécessaire d'étudier plus à fond les textes des années 1690 où il revient sur ces notions. Ainsi pourrons-nous voir comment la notion d'inertie naturelle et le principe d'inertie sont des concepts différents dans l'œuvre de Leibniz et comment ils ne se contredisent d'aucune façon.

À cet égard, un des textes importants à consulter est le *Specimen dynamicum*, dont la première partie est parue dans les *Acta eruditorum* d'avril 1695. Ce texte s'appuie sur certaines considérations développées dans la *Dynamica de potentia*, que Leibniz écrivit lors de son voyage en Italie en 1689-1690. Dès le début, Leibniz fait écho aux textes précédents

[229] F. de C., I, I, 310-314.

en affirmant qu'il y a dans les choses corporelles autre chose que l'extension : « Cette autre chose, antérieure à l'extension et introduite par l'Auteur de la nature, est une force naturelle, qui n'est pas une simple faculté, comme semblaient le penser les scolastiques, mais qui est pourvue d'une tendance ou d'un effort (*sed praeterea conatu sive nisu instruitur*), qui a son plein effet, à moins qu'un effort contraire vienne l'empêcher[230]. » Par la suite, l'auteur du *Specimen dynamicum* propose une classification des forces selon les catégories de forces primitives ou dérivatives, qui peuvent être actives ou passives. Nous nous limiterons aux forces primitives, qui sont du domaine de la métaphysique et qui, selon Leibniz, ne suffisent pas à expliquer les phénomènes, mais dont la connaissance est nécessaire pour philosopher correctement. Ainsi, la première mentionnée est la force active primitive qui n'est rien d'autre que l'entéléchie première et qui correspond à la forme substantielle. La force primitive passive, quant à elle, est une force de résistance, qui constitue ce que dans l'École on appelait la matière première (*materia prima*), si on l'interprète correctement. Leibniz ajoute que cette force « fait en sorte qu'un corps n'est point pénétré par un autre, mais lui fait obstacle et est en même temps doté d'une sorte de paresse, pour ainsi dire, ou de répugnance au mouvement, et ainsi ne permet pas à une force agissante de le mettre en mouvement sans la briser[231] ». Un peu plus loin dans le même texte, Leibniz fait allusion à son livre de 1671, *Hypothesis physica nova*, et à l'erreur qu'il avait commise. Il rappelle que si le corps est compris en termes de grandeur, forme, position et leur changement, sans qu'il soit fait usage de « notions métaphysiques, comme celles d'une puissance active dans la forme et d'une paresse ou d'une résistance au mouvement dans la matière[232] », alors le *conatus* d'un petit corps serait transmis à un grand

[230] GM, VI, 235.
[231] GM,VI, 235.
[232] GM, VI, 241.

corps initialement au repos, ce qui, ajoute Leibniz, est contraire aux principes d'une véritable métaphysique. Leibniz avoue qu'après y avoir réfléchi, il en est venu à la conclusion que sa définition d'un corps était incomplète et que l'on doit supposer autre chose dans les corps que la grandeur et l'impénétrabilité si l'on veut arriver à une interprétation correcte des forces. L'auteur poursuit en affirmant qu'il faut « joindre les lois métaphysiques de cette autre chose à celles de l'extension pour obtenir les règles du mouvement systématiques, c'est-à-dire que tout changement se produit graduellement, que toute action implique une réaction, qu'il n'y a pas de nouvelle force produite sans diminution de la force précédente[233] ». Leibniz conclut que puisque ces lois ne peuvent être obtenues à partir du seul concept de masse, on doit supposer qu'il existe dans les corps un principe actif, qu'il est possible d'appeler entéléchie, forme ou force. Ces propos tenus par Leibniz dans le *Specimen dynamicum* permettent d'observer une continuité et une certaine progression par rapport au contenu de la lettre à Alberti de 1691. On y retrouve d'abord la référence à la règle du choc erronée de la *Theoria motus abstracti* de 1671, suivie du constat que les seules caractéristiques géométriques sont insuffisantes pour déterminer la nature des corps, enfin l'affirmation de la nécessité de recourir à des « entités métaphysiques seulement perceptibles par l'esprit[234] ». Ces entités, qui sont dans les faits les forces primitives, active et passive, sont justifiées à partir des règles du mouvement, elles-mêmes soumises au principe métaphysique de continuité et à celui de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier. Cependant, Leibniz donne peu d'information sur la façon dont sont reliés ces principes actif et passif au sein de la même substance et surtout sur la façon dont ils rendent possible un mouvement déjà amorcé. Il faudra attendre un autre texte important de Leibniz, le *De ipsa natura*, paru pour la première fois dans les *Acta*

---

[233] GM,VI, 241
[234] *Ibid.*, p. 241.

Eruditorum de septembre 1698, dans lequel, comme l'indique le sous-titre, il apporte un éclaircissement à sa dynamique.

Dans le *De ipsa natura*, Leibniz réagit à certaines opinions émises par Jean-Christophe Sturm dans son écrit intitulé *De natura sibi incassum vindicata*. Deux points de ce texte retiennent l'attention de Leibniz : le premier porte sur les éléments qui constituent la nature des choses, le deuxième porte sur la force (ενεργεια) qui réside à l'intérieur des choses. À cet égard, l'article 11 du *De ipsa natura* constitue certainement une partie importante du texte, puisque Leibniz y précise sa position sur ces deux sujets. Dans l'introduction de cet article 11, Leibniz explique ce qu'il entend par l'inertie des corps :

> Cela veut dire que si l'on suppose un corps mis une fois en repos par un moyen quelconque, il ne pourra de lui-même se mettre en mouvement, ni ne se laissera mouvoir par un autre sans lui opposer une résistance, pas plus qu'il ne peut spontanément changer la vitesse ou la direction qu'il a une fois reçues, ni souffrir facilement et sans résistance qu'elles soient changées par un autre corps. Il faut donc avouer que l'étendue ou ce qui, dans le corps, est purement géométrique, si l'on n'y ajoute rien, ne contient en soi rien qui puisse faire naître l'action et le mouvement, et que la matière résiste plutôt au mouvement par une sorte d'*inertie naturelle*, comme Kepler l'a très bien nommée[235].

Ce passage est remarquable, puisqu'on y voit exposés côte à côte le principe d'inertie, exprimé de façon limpide et précise, et la notion d'inertie naturelle. Ce passage illustre, non seulement qu'il n'y a pas, dans l'esprit de Leibniz, de contradiction entre les deux, mais en outre qu'il voit un lien étroit entre les deux concepts. En effet, Leibniz justifie l'existence de l'inertie naturelle par le fait qu'un corps offre une certaine résistance à être mis en mouvement lorsqu'il est initialement au repos, ou par le fait qu'il offre une résistance lorsqu'on tente de modifier sa vitesse ou sa direction lorsqu'il est déjà en mouvement, un tel comportement ne pouvant être expliqué à partir de la seule description géométrique d'un

---

[235] GP, IV, 511, traduit par P. Schrecker dans *Leibniz, Opuscules philosophiques choisis*, Paris, Vrin, 2001, p. 217.

corps. La confusion qu'ont pu voir certains commentateurs provient manifestement du fait que Leibniz conçoit l'inertie naturelle comme une résistance au mouvement plutôt que comme une résistance à un changement d'état de mouvement. Cependant, tout s'éclaire si on considère attentivement la suite du raisonnement de Leibniz. Ce dernier pose d'abord comme prémisses les deux éléments en apparence contradictoires que sont la résistance au mouvement et la persistance du mouvement : « Et de même que, dans la matière, l'*inertie* naturelle s'oppose au *mouvement*, de même il y a, inhérente au corps et même à toute substance, une *constance naturelle* s'opposant au *changement*[236]. » Par la suite, Leibniz attribue cette persévérance du mouvement à une forme d'activité dans les corps. Or, puisque celle-ci ne peut être attribuée à la matière première, qui est essentiellement passive, « on peut en conclure, ajoute Leibniz, que dans la substance corporelle, il doit se trouver une *entéléchie première*, une certaine capacité première (πρωτον δεκτικον) d'activité, à savoir la force motrice primitive qui s'ajoute à l'étendue (ou à ce qui est purement géométrique) et à la masse (ou à ce qui est purement matériel) et qui agit toujours, mais se trouve diversement modifiée, par la concurrence des autres corps et leurs tendances ou impulsions[237] ». Leibniz termine cette partie de son exposé en affirmant que ce principe actif dans les corps, qu'on peut appeler « *forme substantielle* », ajouté à la matière constitue une unité de substance, appelée monade. On observe ici une des toutes premières occurrences du concept de monade dans les textes de Leibniz[238] et par le fait même, on constate que la notion d'inertie naturelle et celle de l'entéléchie première, tout en ayant des rapports étroits avec la physique, sont du domaine de la métaphysique. Ces rapports seront

---

[236] GP, IV, 511.
[237] *Ibid.*, p. 511.
[238] Voir à ce propos le commentaire de Laurent Bouquiaux qui affirme que les premières occurrences du terme monade remontent aux années 1695-1696. dans *Leibniz. Discours de métaphysique suivi de la monadologie*, Paris, Gallimard, 1995, p. 151 n.1.

d'ailleurs précisés dans un texte daté de mai 1702, *De la nature du corps et de la force motrice*, dans lequel Leibniz affirme que « la Dynamique se subordonne à la Métaphysique, laquelle traite de la cause et de l'effet[239] ».

Dans ce texte, Leibniz rappelle ce qui le sépare de Descartes en ce qui concerne la conception qu'a chacun d'eux de la nature des corps et reprend les propos tenus sur ce sujet dans le *De ipsa natura* en leur apportant certaines nuances. Considérons l'extrait suivant qui résume assez bien la pensée de l'auteur :

> En outre, το δυναμικον, c'est-à-dire la puissance, est double dans le corps, Passive et Active. La force passive constitue proprement la Matière ou Masse, l'Active l'εντελεχεια ou forme. La force passive est cette Résistance par laquelle un corps résiste non seulement à la pénétration, mais aussi au mouvement, et qui fait qu'un autre corps ne peut venir prendre sa place sans que lui-même ne lui cède, mais que lui-même ne cède pas sans retarder en quelque chose le mouvement de celui qui le pousse; et qu'il s'efforce ainsi de persévérer dans son état antérieur, en sorte que non seulement il ne le quitte pas spontanément, mais résiste même à celui qui le change. Par conséquent, il y a deux choses dans la Résistance ou Masse : d'abord ce qu'on appelle l'Antitypie ou impénétrabilité, ensuite la résistance ou ce que Kepler appelle l'inertie naturelle des corps, que Descartes aussi, quelque part dans sa Correspondance, reconnaît à ceci, qu'en vérité les corps ne reçoivent un nouveau mouvement que par force et partant résistent à celui qui fait pression et en brisent la force[240].

Comme dans le texte précédent, Leibniz s'appuie sur le principe d'inertie et le phénomène physique des collisions, par lequel le mouvement d'un corps est modifié, pour justifier l'existence de cette résistance inhérente aux corps. De plus, la notion d'inertie naturelle y est présentée d'une façon plus explicite que dans les textes précédents comme un élément constitutif de la nature des corps, au même titre que l'impénétrabilité. Dans la suite de ce texte, Leibniz reprend ce qu'il avait dit dans le *De ipsa natura* à savoir que la force active primitive et la force passive sont les deux principes naturels qui constituent l'unité de la

[239] GP, IV, 393-400
[240] GP, IV, 395.

substance corporelle, *unum per se.* Ce dernier point a d'ailleurs fait l'objet d'échanges intéressants entre Leibniz et De Volder dans la correspondance qu'ils ont tenue de 1698 à 1706, échanges qui ont sans doute amené Leibniz à préciser comment la force passive et la force active peuvent coexister au sein de la même substance. Ainsi, dans sa lettre du 24 mars/3 avril 1699, Leibniz écrit : « Puisque la matière répugne au mouvement par une force générale passive de résistance et qu'elle est portée en mouvement par une force spéciale d'action, ou entéléchie, il s'en suit que l'inertie, durant le mouvement, résiste continuellement à l'entéléchie ou à la force motrice (*sequitur ut etiam inertia durante motu Entelechiae seu vi motrici perpetuo resistat*)[241]. » Or, un peu plus tard, dans une lettre datée du 20 juin 1703, Leibniz, à la suite de certaines questions posées par De Volder à propos de la nature du lien qui unit la force active et la résistance dans un corps, répond qu'un tel lien est postulé par la nature des choses (*Talem ergo conjunctionem postulat natura rerum*). Un peu plus loin dans la même lettre, Leibniz ajoute un passage significatif dans lequel il corrige quelque peu les propos tenus dans sa lettre de 1699 : « Pour parler d'une façon appropriée et rigoureuse, peut-être ne devrions-nous pas dire que l'Entéléchie primitive pousse la masse de son propre corps, mais qu'elle est liée à la puissance passive primitive qu'elle complète, avec laquelle elle constitue la Monade [...][242] » Dans cette perspective, la force active et la force passive ne sont plus deux entités antagonistes, mais deux aspects complémentaires de la substance corporelle qui se conjuguent pour rendre possible la persistance d'un mouvement rectiligne uniforme en l'absence d'une force extérieure et pour faire en sorte que les règles du choc soient compatibles à la fois avec les données de l'expérience et avec les principes métaphysiques de continuité et de l'équivalence de la cause et de l'effet. Toute cette description du mouvement et des forces primitives doit être

[241] GP, II, 171.
[242] GP, II, 250.

envisagée dans un contexte plus large où Leibniz développe une métaphysique de la substance à partir de considérations à la fois philosophico-théologiques et physiques. Ces considérations, qui ont fait l'objet d'échanges intéressants avec quelques-uns des correspondants de Leibniz tels que Arnauld, De Volder et Des Bosses, dépassent le cadre de notre étude. Cependant, il nous semble important de faire ressortir cette dimension métaphysique de la notion d'inertie naturelle, ainsi que le lien que Leibniz établit entre celle-ci et le mouvement rectiligne uniforme. Une telle distinction entre le plan de la physique et celui de la métaphysique permet d'éviter les interprétations qu'ont données certains commentateurs des propos de Leibniz sur l'inertie. D'ailleurs, Leibniz lui-même a toujours tenté de maintenir cette distinction et a constamment souligné le fait que ces notions métaphysiques qui concernent la substance sont insuffisantes, voire même inutiles pour expliquer les phénomènes.[243] Nous avons ainsi tenté, en cernant l'apparition de cette notion d'inertie naturelle dans l'œuvre de Leibniz, de montrer qu'elle était en grande partie du domaine de la métaphysique et que, de ce point de vue, elle constituait un complément qu'il faut ajouter à la nature des corps pour rendre plus compréhensible le mouvement rectiligne uniforme tel qu'il existe selon le principe physique d'inertie.

[243] Ainsi dans le *Specimen dynamicum, Leibniz écrit:* « *Et primitiva quidem (quae nihil aliud est, quam ἐντελέχεια ἡ πρώτη) animae vel formae substantiali respondet, sed vel ideo non nisi ad generales causas pertinet, quae phaenomenis explicandis sufficere non possunt. Itaque illis assentimur, qui formas in rerum sensibilium causis propriis specialibusque tradendis adhibendas negant* [...] », GM, VI, 236. Voir aussi la lettre à Arnauld de novembre-décembre 1686 : « Cependant il est inutile de faire mention de l'unité, notion ou forme substantielle des corps, quand il s'agit d'expliquer les phénomènes particuliers de la nature. », GP, II, 77. Voir aussi l'annexe de la lettre au Landgrave Ernst von Hessen-Rheinfels de février 1686 : « 10. Que l'opinion des formes substantielles a quelque chose de solide, mais que ces formes ne changent rien dans les phénomènes, et ne doivent point estre employées pour expliquer les effects particuliers. », GP, II, 12.

5. Conclusion

Dans les sections précédentes, nous avons étudié l'émergence de la notion d'inertie naturelle dans les textes de Leibniz et l'utilisation qu'il en fait. Nous avions comme objectif de répondre aux critiques des commentateurs qui soutenaient que Leibniz ne connaissait pas le principe d'inertie ou qu'il en confondait la signification avec celle de la notion d'inertie naturelle héritée de Kepler. À la lumière des passages des textes de Leibniz que nous avons mis en relief, plusieurs arguments peuvent être apportés concernant les critiques adressées à Leibniz. Le premier élément de réponse peut être apporté en considérant les circonstances dans lesquelles Leibniz utilise cette notion d'inertie naturelle. De ce point de vue, un relevé de seize mentions[244] que fait Leibniz de cette notion entre 1676 et 1715 permet de constater qu'il utilise l'expression « répugnance au mouvement » uniquement pour décrire l'un des deux phénomènes physiques suivants : le premier est qu'un corps au repos offre une certaine résistance à être mis en mouvement par un autre corps en mouvement de telle sorte que la vitesse de ce dernier diminuera à la suite de la collision avec le corps au repos ; le deuxième phénomène est qu'un corps en mouvement avec une certaine force se déplacera avec une grande vitesse lorsque sa masse est petite et vice versa, comme il est illustré dans l'exemple des bateaux. Or, ces deux phénomènes ne sont aucunement en contradiction avec le principe d'inertie tel qu'exprimé par Newton dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica.* En effet, selon la physique newtonienne, une force est requise pour mettre un corps en mouvement et, de plus, lorsque deux corps

---

[244] Lettre à Claude Perrault, début 1676, A, II, 1, 262-264, *Principia mechanica ex metaphysicis dependere*, 1678-1680, A, VI, 4, C, 1976, *Phoranomus seu de potentia et legibus naturae*, 1689, dans « *Physis* », XXXVIII, 1991, 3, p. 480, *Dynamica de potentia*, 1689-1690, GM, VI, 398-399, lettre de Leibniz parue dans le *Journal des savants* du 18 juin 1691, GP, IV, 464, *Specimen dynamicum,* 1695, GM, VI, 237, *De ipsa natura,* 1698, GP, IV, 511, lettre de Leibniz à De Volder de mars/avril 1699, GP, II, 170, lettre à Thomas Burnett, 1700, [De la nature des corps et de la force motrice], 1702, GP, IV, 395, *Nouveaux essais sur l'entendement humain*, 1703, GP, V, 111, *Essais de théodicée*, 1710, GP, VI, 341, *Causa dei*, 1710, GP, VI, 450, lettre de Leibniz à Remond du 11 février 1715, GP, III, 636, lettre à Hermann, 17 septembre 1715, GM, IV, 398, lettre à Zendrini, 4 novembre 1715, GM, IV, 244, lettre à Clarke, août 1716, GP, VII, 414

sont mis en mouvement par une même force, celui des deux qui a la masse la plus grande se déplacera avec la vitesse la plus petite. Les deux phénomènes mentionnés par Leibniz sont donc compatibles avec la physique newtonienne même si les deux auteurs attribuent des sens différents au mot « force ». Le deuxième argument qui peut être avancé pour répondre aux critiques mentionnées précédemment est que nulle part dans ses textes Leibniz n'émet l'idée qu'un corps en mouvement rectiligne à vitesse constante est maintenu en mouvement par une force extérieure, ce qui serait dans le sens de la notion d'inertie telle que comprise par Kepler et en contradiction avec le principe d'inertie. Par ailleurs, il est certain que Leibniz connaissait le contenu du principe d'inertie tel qu'il a été exprimé par Newton ou Descartes. Certains commentateurs tels que Bernstein et Vailati[245] ont exprimé ce point de vue dans des études récentes consacrées à Leibniz et s'opposent ainsi à l'interprétation que font Clarke, Koyré et Cohen de la position de Leibniz. Vailati s'appuie sur le fait que Leibniz possédait une édition des *Philosophiae naturalis principia mathematica* de Newton qu'il avait abondamment annotée. Par ailleurs, bien que Vailati ne le mentionne pas, on peut ajouter que dans les « *Animadversiones in Partem Generalem Principiorum Cartesianorum* », Leibniz confirme la connaissance qu'il avait des deux premières lois de la nature de Descartes. Il affirme à ce sujet : « Sur les art. 37 & 38. C'est une loi très vraie et incontestable de la nature, que chaque chose demeure dans le même état, en tant qu'elle ne dépend que d'elle-même [...] Sur l'art. 39 [...] Descartes a exactement formulé cette loi, et l'a très bien expliquée ; mais il ne l'a pas démontrée comme on pouvait l'attendre de lui [...] Dans les art. 37 et 39, Descartes a énoncé deux lois de la nature, très vraies et à peu près évidentes par elles-mêmes [...][246] ». Ces commentaires de Leibniz démontrent que non seulement il connaissait la formulation du principe d'inertie par Descartes, mais qu'en outre

---

[245] Vailati, *op. cit.*, p. 181.
[246] GP, IV, 373.

il en approuvait le contenu. Cependant, de tels propos aussi intéressants soient-ils ont un caractère plutôt anecdotique. Les aspects les plus importants à considérer en ce qui concerne le principe d'inertie sont la façon dont Leibniz a pu l'intégrer dans sa physique et la démonstration que lui-même a pu en proposer, puisqu'il reproche à Descartes de ne pas l'avoir fait adéquatement. Avant d'étudier ces aspects en profondeur, il convient de considérer les circonstances dans lesquelles le principe apparaît dans les premiers textes de Leibniz et de cerner les influences qui en sont à la source.

Chapitre IV. — L'introduction du principe d'inertie dans les textes de Leibniz

1. Le principe d'inertie dans la première physique de Leibniz

Le principe d'inertie, contrairement à la notion d'inertie naturelle, apparaît très tôt dans les écrits de Leibniz. En effet, ce dernier, dans les ébauches pour la *Theoria motus abstracti*[247], formule à plusieurs reprises le principe d'inertie. Dès le début du premier feuillet, intitulé *De Rationibus motus* (1669), Leibniz laisse entrevoir les sources de son inspiration en identifiant les philosophes qu'il considère comme les plus perspicaces en ce qui concerne l'explication des mouvements : Galilée, Descartes, Hobbes et Huygens[248]. Un peu plus loin dans le même feuillet, Leibniz donne une première formulation du principe :

> (§. 10.) Reg. I. *Quicquid quiescit semper quiescet, donec ab alio corpore moto contingatur.*
> (§. 11.) *Quicquid movetur semper movebitur eadem celeritate in eandem plagam, nisi ab alio corpore contiguo impediatur.*

Cet énoncé du principe est à toute fin pratique une reproduction de celui que donne Hobbes au chapitre XV du *De Corpore* :

> *Quod quiescit, semper quieturum esse, nisi existat extra ipsum, quo supposito quiescere amplius non possit.*
> *Quidquid movetur, eadem celeritate et per eandem viam semper progressurum esse, nisi a corpore moto et contiguo impediatur*[249].

Non seulement Leibniz reprend cette disparité d'espèce entre le repos et le mouvement, qui était présente dans le texte de Hobbes, mais en outre il affirme, comme le faisait Hobbes, que la vitesse d'un corps ne saurait être modifiée que par la présence d'un corps qui lui est contigu. Par ailleurs, il est important de mettre en relief le fait que Hobbes en utilisant le

---

[247] Vorarbeiten zur *Theoria motus abstracti*, A, VI, 2, 157-185.
[248] « *Idque agnovisse mihi videntur, quotquot de motu acutius philosophati sunt : Galileus, Hobbes, Cartesius, quoque nunc etiam Hugenius* », A, VI, 2, 159.
[249] Thomas Hobbes, *De Corpore*, Édition critique, notes, appendices et index par Karl Schumann, introduction par Karl Schumann avec la collaboration de Martine Pécharman, Paris, Vrin, 1999, p. 154.

terme « *viam* » n'a pas nécessairement dans l'idée un mouvement rectiligne. Ce terme qui peut être traduit par chemin est défini par Hobbes comme ce qui se trouve entre deux extrémités[250]. Le troisième feuillet, écrit vraisemblablement vers la fin de 1669, est sans doute plus intéressant à cet égard, puisque Leibniz y propose une démonstration des deux énoncés qui constituent le principe d'inertie et auxquels il accorde le statut de théorèmes.

> Théor. 6 – Tout ce qui est au repos demeure toujours au repos s'il est laissé à lui-même. En effet, pour un corps au repos laissé à lui-même, il n'y a pas de raison pour laquelle il se déplacerait là plutôt qu'ailleurs, et à ce moment plutôt qu'à un autre. Donc, ou bien il se déplacera dans toutes les directions et à tous les instants à la fois, ce qui contredit le théor. 5, ou bien il demeurera au repos. Q.E.D.
>
> Théor. 7 – Tout ce qui est en mouvement, si on le laisse à lui-même, se déplace toujours à la même vitesse, dans la même direction, puisque étant laissé à lui-même, il n'y a pas de raison pour laquelle il devrait s'arrêter à cet endroit plutôt qu'à un autre, pour laquelle il devrait être dévié dans cette direction plutôt que dans une autre, ou pour laquelle son degré de vitesse devrait être changé[251].

Ici encore, l'influence de Hobbes est manifeste en ce qui concerne le théorème 6 et une partie du théorème 7. Ce fait est d'ailleurs corroboré par un extrait d'une lettre de Leibniz adressée à Oldenburg le 11 mars 1671. Leibniz écrit alors :

> J'en viens maintenant aux lois de la nature apportées par Descartes. La première est vraie. *Principes*[...],II, [#37]. Mais Descartes ne l'a pas démontrée. C'est Hobbes qui le premier a démontré que ce qui a été une fois mis en mouvement reste, autant qu'il est en lui, toujours en mouvement [*quod semel moveatur, semper, quantum in se est, moveri*]. La seconde [#39] est vraie, mais n'a pas été démontrée par personne. Or, je démontrerai que dans un mouvement courbe il y a *conatus* vers la ligne droite ; de nouveau, Descartes a recours à l'immutabilité et à l'action réglée de Dieu[252].

La démonstration à laquelle fait allusion Leibniz dans cette lettre est présentée au chapitre VIII, section 19, du *De corpore*, intitulée « *Quod quiescit, nisi moveatur ab externo,*

---

[250] « *Extremarum autem quae prior numeratur, principium, quae posterior, finis ; mediae vero omnes simul sumptae via est.* » *ibid*., p. 79.
[251] A, VI, 2, 169.
[252] GP, I, 71.

semper quiescet ; et quod movetur, nisi ab externo impediatur, semper movebitur[253] ». Hobbes y présente une démonstration en deux temps de la première partie du principe d'inertie que Descartes expose à l'article 37, partie II des *Principia philosophiae.* Le philosophe anglais démontre d'abord qu'un corps au repos doit le demeurer à moins qu'un autre corps ne vienne prendre sa place. L'argumentation de Hobbes se résume au fait qu'en l'absence d'un tel autre corps, il n'y pas de raison pour laquelle le corps au repos devrait se déplacer suivant une trajectoire (*via*) plutôt que suivant une autre. Dans ces circonstances, rien ne nous empêcherait d'affirmer qu'il se déplacerait suivant toutes les trajectoires à la fois, ce qui est absurde. Par la suite, Hobbes présente une démonstration équivalente pour un corps en mouvement :

> Pareillement, ce qui est en mouvement, est toujours reconnu être en mouvement, à moins qu'il n'y ait quelque chose à l'extérieur de lui, à cause de quoi il cesserait de se mouvoir. De fait si nous supposons qu'il n'y a rien d'autre [que l'objet en mouvement] il n'y a pas de raison pour laquelle le mouvement devrait cesser plutôt maintenant qu'à tout autre temps ; ainsi ce mouvement cesserait à tout point du temps à la fois, ce qui n'est pas intelligible[254].

L'argument de Hobbes ne fait pas allusion à un mouvement rectiligne et uniforme du corps et, par conséquent, ne constitue la démonstration que d'une partie seulement du principe d'inertie, comme le mentionne Leibniz dans sa lettre à Oldenburg. On constate que l'argument de Leibniz pour justifier le principe d'inertie, présenté dans les textes qui précèdent la *Theoria motus abstracti*, offre des similitudes frappantes avec cette démonstration de Hobbes. Dans son explication, Leibniz ne fait que reprendre l'argument de Hobbes, soit l'absence de raison suffisante expliquant un changement du mouvement d'un corps, pour justifier la constance de la vitesse et de la trajectoire d'un corps mis en mouvement et laissé à lui-même. Par ailleurs, l'influence de Hobbes se fait sentir bien au-

---

[253] Thomas Hobbes, *op. cit.*, p. 82.
[254] *Ibid.*, p. 91.

delà des ces ébauches produites par Leibniz dans les années 1669 et 1670. En effet, dans la *Theoria motus abstracti*, Leibniz inclut une formulation du principe d'inertie qui, là aussi, présente des similitudes frappantes avec celle que donne Hobbes au chapitre XV du *De corpore,* intitulé *De rationibus motuum et magnitudinum*. Dans son texte, Leibniz, après avoir donné certaines définitions du mouvement abstrait, présente les *Fundamenta praedemonstrabilia* parmi lesquels on retrouve la formulation en deux parties du principe d'inertie : « *Nam 8) ubi semel res quieverit, nisi nova motus accedat, semper quiescet. 9) Contra, quod semel movetur, quantum in ipso est, semper movetur eadem velocitate et plaga*[255] ». Cette formulation est manifestement très proche de celle que donne Hobbes dans le *De corpore* : « *Nam quicquid movetur, perseverat eadem celeritate et viâ, quamdiu a moto in contratium non impeditur*[256] ». On y observe dans les deux cas l'idée de la persistance de la vitesse et de la même trajectoire d'un corps en mouvement, de même que la reconnaissance d'une disparité entre le mouvement et le repos. L'expression « *quantum in ipso est* » utilisée par Leibniz dans la *Theoria motus abstracti* n'apparaît pas dans le texte de Hobbes, mais est équivalente à l'expression « *quantum in se est* » utilisée par Descartes dans les *Principia philosophiae* et que Leibniz utilise telle quelle dans sa lettre à Oldenburg. Bernstein affirme[257] à ce propos que si l'influence de Hobbes est indéniable en ce qui concerne la formulation du principe, celle de Descartes ne saurait être niée pour autant. Par ailleurs, il est important de souligner que la ressemblance entre les formulations leibnizienne et hobbienne du principe d'inertie n'a pas un caractère ponctuel, mais s'inscrit dans une influence globale qu'a eue la physique de Hobbes sur celle de Leibniz. Duchesneau, qui consacre le premier chapitre de *La dynamique de Leibniz* à l'étude de cette

---

[255] GP, II, 68.
[256] Thomas Hobbes, *op. cit.*, p. 157.
[257] Voir Howard R. Bernstein, *loc. cit.*, p. 101 et de même que son article « *Conatus* Hobbes, and the Young Leibniz », *Stud. Hist. Phil. Sci.*, Vol 11. (1980), No. 1, p. 28-29.

influence de Hobbes sur la physique du jeune Leibniz, relève deux pôles autour desquels se concrétise cette influence, soit le principe d'inertie et la notion de *conatus*. Selon Duchesneau, Leibniz, dans la *Theoria motus abstracti*, a emprunté de Hobbes la notion du *conatus* et lui a ajouté certains caractères inspirés du modèle des indivisibles de Cavalieri. Duchesneau résume ainsi la définition leibnizienne du *conatus* et le rôle qui lui est assigné : « Le *conatus* est un indivisible de mouvement qui peut de même comporter une pluralité de déterminations internes dans l'instant ; d'où la possibilité de combinaisons de ces déterminations dans certains cas, voire la possibilité de séries embryonnées de déterminations, si du moins le *conatus* se trouve rattaché à une *mens*[258]. » De plus, la notion du *conatus* se conjugue parfaitement avec celle du principe d'inertie dans la mesure où, suivant ce modèle, un *conatus* instantané et non empêché engendre un mouvement rectiligne uniforme. Dans la *Theoria motus abstracti,* Leibniz fait appel à ce modèle ainsi qu'à la composition algébrique des *conatus* pour déduire un certain nombre de théorèmes portant sur la rencontre des corps. Le plus remarquable de ceux-ci est sans doute celui dans lequel Leibniz affirme qu'un corps en mouvement qui en rencontre un autre au repos entraîne ce dernier sans diminution de sa vitesse. Ce théorème, bien que contraire à ce qui est observé, trouve son explication dans le modèle des *conatus* et dans la conception leibnizienne du principe d'inertie, empruntée de Hobbes. Leibniz, qui intègre à la notion du *conatus* la caractéristique d'*impetus* associée à la vitesse du corps, considère qu'un corps au repos n'a pas de *conatus,* puisqu'il n'a pas de vitesse, et donc, en vertu de la composition algébrique des *conatus*, ne peut offrir de résistance au mouvement. Par ailleurs, l'auteur de la *Theoria motus abstracti* ne se limite pas à l'étude du choc des corps, mais tente aussi d'expliquer d'autres types de mouvements tels que le mouvement accéléré et le mouvement

[258] F. Duchesneau (1994), p. 92.

circulaire. Pour ce faire, il doit cependant faire appel à des hypothèses auxiliaires, car les notions du *conatus* et du principe d'inertie sont insuffisantes à elles seules pour expliquer de tels phénomènes. À la lumière de ce bref aperçu de la façon dont Leibniz a intégré dans ses écrits de jeunesse le principe d'inertie, il ressort que le principe y possède un statut de théorème et que le rôle qui lui est assigné réside dans le domaine des constructions mathématiques, basées sur des définitions *a priori* de concepts abstraits. Or, quelques années plus tard, Leibniz s'est de nouveau penché sur le phénomène du choc des corps en modifiant son approche antérieure. Le texte du *De corporum concursu* écrit en 1678 relate cette réforme de la dynamique à laquelle a travaillé Leibniz et contient des principes nouveaux d'ordre métaphysique qui l'ont conduit à formuler des règles du choc plus conformes à l'expérience que les précédentes. Dans ce contexte, il est intéressant d'observer le sort qu'a connu le principe d'inertie dans ces écrits.

2. Le principe d'inertie dans les écrits de la période de transition

Il faut reconnaître dès le début que le principe n'y a plus le statut de théorème qu'il avait dans ses écrits de jeunesse et n'y joue plus le même rôle. De fait, le principe d'inertie n'y est même pas mis en relief de façon particulière, mais il n'en est pas moins présent sous une forme qui témoigne de l'évolution de la pensée de Leibniz. Nous préciserons d'abord le contexte dans lequel apparaît le concept d'inertie et par la suite l'utilisation qu'en fait Leibniz dans le *De corporum concursu.* Déjà dans les écrits de transition concernant la physique, Leibniz utilise la notion de continuité[259] en vue de justifier tout au moins la persistance d'un mouvement rectiligne uniforme en l'absence d'empêchements

---

[259] Nous utilisons pour l'instant le terme notion de continuité plutôt que principe de continuité ou loi de continuité que Leibniz présentera de façon officielle en 1687.

(*impedimenta*). Dans plusieurs de ces textes, l'idée d'une continuité dans le mouvement et de la conservation de la puissance qui lui est associée repose sur le principe métaphysique de l'équivalence entre la cause pleine et l'effet entier. De plus, il est possible d'y observer un certain usage du concept de *convenance* que Leibniz utilisera largement dans la définition et dans les propriétés du mouvement simplement simple (*motus simpliciter simplex*), dans la *Dynamica de potentia*. Considérons deux exemples pour illustrer ces propos. Le premier est tiré d'un court texte écrit durant l'été 1676, le *De arcanis motus et mechanica ad puram geometriam reducenda*[260]. Leibniz y décrit une méthode générale en vue de l'établissement d'une mécanique qui soit compatible avec les résultats de l'expérience. Dans cette perspective, il considère que les lois du mouvement, qui semblent variées, devraient être réduites à un seul principe d'où pourraient être déduites les équations analytiques décrivant le mouvement. Or, ce principe, ou cet axiome pour utiliser un terme plus approprié, — car comme l'indique le titre du texte, Leibniz propose dans les faits de réduire la mécanique à une pure géométrie — , est celui de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier. En ce sens, l'objectif de Leibniz est d'établir un lien, une connexion nécessaire, entre deux états consécutifs du mouvement d'un corps, le premier étant associé à la cause et le second à l'effet, « *Quoniam ergo causa et effectus hoc loco sunt ut prius et posterius, necessario inter se connexa*[261] », et de montrer en invoquant une forme d'équivalence entre ces états qu'il y a conservation de la puissance de ce mouvement. Pour ce faire, Leibniz s'appuie sur la notion de *convenance* entre ces états : « [...] toutes les fois qu'un effet qui revient en suit un autre, il est nécessaire que se conserve continuellement cette équivalence, en outre cette équivalence peut seulement consister en cela en quoi ils

---

[260] LH 35 ; XIII,3, BL. 81, transcrit par Heinz-Jürgen Hess, in : *Leibniz à Paris (1671-1676), Studia Leibnitiana, Supplementa 17,* F. Steiner, 1978, p. 202-205. Voir le résumé de ce texte et le commentaire pertinent dans Duchesneau [1994] p. 103-106.
[261] *Ibid.*, p. 203

conviennent; ils *conviennent* en ce que tant la cause que l'effet a une certaine puissance, c'est-à-dire la capacité de produire un autre effet[262] ». Si la notion de continuité apparaît de façon implicite dans cet exposé du principe d'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier, dans le *De corporum concursu* écrit peu de temps après le *De Arcanis Motus*, elle est présentée de façon très explicite et justifie d'une certaine façon le principe de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier.

Ainsi, à la *scheda septima* du *De corporum concursu,* Leibniz présente le principe de continuité et le relie étroitement au principe de l'équivalence causale. Par la même occasion, on voit de nouveau Leibniz faire appel à la notion de *convenance* entre la cause et l'effet, mais en y ajoutant cette fois l'idée d'un minimum de changement entre les deux états successifs du mouvement qui représentent respectivement la cause et l'effet:

> L'effet entier est assimilé à la cause pleine autant que faire se peut. Car l'effet entier n'est qu'un changement de la cause pleine, et même le moindre qui soit possible [...]. Assurément l'effet et la cause pleine ne diffèrent que par une certaine différence formelle particulière : en somme, ils conviennent (*conveniunt*) [...]. L'effet entier naît de la cause entière, et le concept de l'effet naît du concept de cause pour autant qu'il implique en même temps la nécessité du changement. Le changement doit toujours être conçu comme le moindre possible[263].

Duchesneau résume ainsi l'évolution observée dans cet extrait du *De corporum concursu* par rapport au contenu du *De Arcanis Motus* :

> Mais le raffinement analytique consiste ici à fournir d'abord une explication sur l'assimilation formelle de la cause et de l'effet comme moments successifs d'une série continue. D'où la subsomption de la causalité ainsi décrite sous le principe de continuité : l'identité d'une loi de série, d'un ordre formel, sous-tend le changement et en conditionne l'intelligibilité de façon nécessaire (nécessité *ex hypothesi*). L'effet diffère en effet de la cause pleine d'une différence moindre que toute quantité assignable[264].

---

[262] *Ibid.*, p. 203.
[263] *De corporum concursu*, LH, XXXV, 9,23, f.21r, transc., 76, trad. dans Duchesneau [1994], p. 120.
[264] F. Duchesneau (1994), p. 119.

L'objectif de Leibniz est d'appliquer ce principe de l'équivalence entre la cause pleine et l'effet entier aux règles du mouvement en considérant au départ le cas des corps égaux. Mais avant de ce faire, Leibniz commence par une énonciation du principe d'inertie suivie de sa justification : « Un corps une fois au repos ou tendant dans une direction déterminée restera toujours au repos ou tendra dans la même direction avec la même vitesse. Cela est manifeste parce que l'état suivant est l'effet du précédent et que rien n'empêche que l'un soit semblable à l'autre[265]. » On observera que la formulation présente du principe d'inertie ne reflète plus l'hétérogénéité d'espèce entre le mouvement et le repos qui était présente dans les formulations des années 1668-1671 et dans celle de Hobbes. De plus, là où Leibniz invoquait dans ses travaux antérieurs l'absence de raison suffisante pour justifier l'absence de changement dans le mouvement rectiligne et uniforme d'un corps, il invoque maintenant une raison suffisante, à savoir le principe de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier, pour justifier une forme de continuité qui se concrétise par la tendance pour un corps à maintenir son état de mouvement rectiligne uniforme ou son état de repos. Les propos de Duchesneau en ce qui concerne le principe de continuité et en particulier le recours à idée d'une loi de série qui, à l'image des séries mathématiques, rend compréhensible la continuité du mouvement d'un corps à travers les changements de position qui le rendent possible, jette un éclairage intéressant sur la façon dont Leibniz présentera plus tard à quelques reprises le mouvement rectiligne uniforme. Ainsi, dans le *De ipsa natura sive de vi insita actionibusque Creaturum, pro Dynamicis suis confirmandis illustrandisque,* Leibniz affirme « que le corps conserve par lui-même l'élan une fois reçu et reste animé d'une vitesse *constante*, autrement dit, qu'il a tendance à persévérer dans cette même série

[265] *De corporum concursu*, LH XXXV, 9, 23, f° 21 r°, trad. dans Fichant, p. 294.

de changements, dès qu'il y est une fois entré[266] ». On peut retrouver d'ailleurs une autre allusion explicite de Leibniz à cette loi de série lors des échanges épistolaires qu'il a eus avec De Volder sur la nature de la substance. Ainsi, dans sa lettre du 20 juin 1703, Leibniz écrit :« Tout changement ne doit pas venir de l'extérieur, au contraire la tendance interne au changement est essentielle à la substance finie, dans les monades elle ne peut venir naturellement d'un autre lieu[267]. » À De Volder qui prétend que cela doit être démontré[268], Leibniz réplique en donnant l'exemple du mouvement inertial :

> De la nature d'un corps se déplaçant en ligne droite à une vitesse donnée, il s'en suit, si on ne suppose rien d'extrinsèque, qu'il parviendra à un point le long de cette droite, après qu'un certain temps se soit écoulé. Mais est-ce qu'il se déplacera vers ce point pour toujours et de façon continue? Imagine donc dans les tendances primitives ce que tu reconnais nécessaire dans les dérivatives. Et la chose est à l'exemple des lois de série ou de la nature des lignes, dans lesquelles toute la progression est suffisamment contenue dans le début. Il faut que toute la nature soit telle, autrement elle serait déraisonnable et indigne de sagesse[269].

À de Volder qui ne semble pas comprendre le rôle précis de ces tendances primitives et dérivatives dans l'explication qu'il vient de lui donner, Leibniz, dans la lettre suivante, précise sa pensée sur l'interprétation qu'il faut donner à ses propos : « La force dérivative est l'état présent lui-même dans la mesure où il tend vers le suivant ou si l'on veut dans la mesure où il le précède en l'impliquant, comme tout présent est chargé d'un futur. Mais ce qui persiste, dans la mesure où il implique tous les cas, possède une force primitive, de sorte que la force primitive est comme une loi de série, alors que la force dérivative est

[266] *G*, IV, 511.

[267] « *Nec vero mutatio omnis ab externo esse debet, cum contra substantiae finitae essentialis sit interna tendentia ad mutationem, nec in mondibus naturaliter aliunde oriri possit.* », GP, II, 252.

[268] « *Dicis quidem, substantiae finitae essentialem esse internam tendentiam ad mutationem, verum hoc ipsum illud est quod demonstrationem exigit, et quod allato modo ratiocinio, nisi falor, evertitur.* » lettre de De Volder à Leibniz du 30 octobre 1703, GP, II, 256.

[269] « *Ex natura Corporis Moti in recta data velocitate data, nullo extrinsecus assumto, sequitur ut dato tempore elapso perveniat ad datum in recta punctum. An ergo semper et perpetuo ad id punctum pervenit? Concipe igitur in primitivis tendentiis quod agnoscere oportet in derivativis. Et res se habet velut in legibus serierum aut linearum, ubi in ipso initio sufficiente progressus omnes continentur. Talemque oportet esse totam naturam, alioqui inepta foret et indigna sapiente.* » GP, II, 258.

comme la valeur déterminée qui désigne un terme dans la série[270]. » Les commentaires de Leibniz font ressortir la distinction qu'il fait entre l'ordre des phénomènes et l'ordre des raisons. Dans l'ordre des phénomènes, réside le mouvement ou, pour être plus précis le changement de mouvement[271] qui découle des forces dérivatives, c'est-à-dire en dernier ressort de la rencontre avec d'autres corps, alors que la force primitive décrit une forme d'action dans la substance qui découle de la nature des choses et qui se traduit par une tendance interne au changement, une connexion nécessaire entre les états successifs du mouvement rectiligne uniforme, connexion que décrit cette notion de continuité et le principe de la cause pleine et de l'effet entier. Dans le *De corporum concursu*, Leibniz étend la portée du principe d'équivalence causale bien au-delà de la justification du principe d'inertie en l'appliquant au cas de la collision entre des corps égaux. Il expose la règle du choc pour le cas considéré et sa justification :

> Si un corps heurte un autre corps égal au repos, dur ou suffisamment élastique, il restera en repos à sa place, et le corps choqué progressera dans la même direction avec la même vitesse que le corps choquant avait pour venir à lui. Cela résulte manifestement de ce qui précède. Car c'est ainsi que l'effet est rendu le plus possible semblable à la cause ou l'état suivant au précédent. Il en est exactement comme si rien n'était arrivé, car, quoique le corps choquant soit réduit au repos, le corps choqué égal lui succède comme remplaçant, et de sorte que la même quantité de mouvement dans la même direction demeure, c'est-à-dire la force et pareillement la direction. Au point que si les deux corps étaient semblables, l'état précédent ne pourrait absolument pas être discerné du suivant[272].

Fait paradoxal, Leibniz, en s'appuyant sur le principe d'inertie, en arrive à formuler une règle du choc complètement à l'opposé de celle qu'il avait formulée pour le même cas dans ses écrits de jeunesse alors qu'il s'appuyait là aussi sur le principe d'inertie. L'explication

---

[270] « *Vis autem derivativa est ipse status praesens dum tendit ad sequentem seu sequentem prae-involvit, uti omne praesens gravidum est futuro. Sed ipsum persistens, quatenus involvit casus omnes, primitivam vim habet, ut vis primitiva sit velut lex seriei, vis derivativa velut determinatio quae terminum aliquem in serie designat* », lettre de Leibniz à De Volder, 21 janvier, 1703, GP, II, 262.

[271] « *Ego vero motum non habeo pro vi derivativa, sed motum* (*nempe mutationem*) *ex ea sequi puto.* », *Ibid.*, p. 262.

[272] *De corporum concursu*, LH XXXV, 9, 23, f° 21 r°, trad. dans Fichant, p. 294.

réside sans aucun doute dans sa découverte du principe d'équipollence de la cause pleine et de l'effet entier. Ce principe jette un éclairage nouveau à la fois sur le principe d'inertie et sur le cas de la collision considéré plus haut. Ainsi, dans la rencontre d'un corps en mouvement avec un corps au repos, le changement qui intervient à la suite de la collision doit assurer une similitude et une continuité dans l'état global de mouvement des deux corps. Or, l'argument de Leibniz consiste à affirmer que la plus grande similitude réside dans le fait que ces deux corps échangent leurs états respectifs de mouvement : le corps initialement en mouvement devient au repos et le corps initialement au repos se déplace à la fin dans la même direction et avec la même vitesse que l'autre corps, de sorte que si les deux corps étaient identiques, l'état final, qui constitue l'effet entier, différerait aussi peu que possible de l'état initial, qui constitue la cause pleine. En ce qui concerne le rôle du principe d'inertie dans cette argumentation, on peut supposer qu'il permet d'affirmer que la vitesse et la grandeur du premier corps sont constantes avant la collision, de même que la vitesse et la direction de l'autre corps le sont après la collision. Dans cette perspective, on doit admettre que le rôle du principe d'inertie est plutôt limité si on le compare avec celui qu'il jouait dans la *Theoria motus abstracti* et dans les textes préparatoires, ce qui est confirmé par le fait que le principe n'apparaît nulle part ailleurs dans les feuillets du *De corporum concursu* et que Leibniz n'y fait pas allusion non plus. Il n'en demeure pas moins que ce court extrait permet d'observer une mutation importante dans la conception leibnizienne du principe d'inertie et dans les orientations nouvelles que prend sa physique. Cette mutation se traduit par une forme différente de celle qu'il avait dans les textes des années antérieures, par une justification différente et, certes, par un rôle différent et peut-être moins important en apparence que celui qu'il avait jadis. Cependant, cette observation doit être située dans un contexte plus large, car les textes les plus importants que Leibniz a consacrés à la physique ont été écrits dans sa période de maturité, soit à partir de 1689-90. Parmi ces écrits, le *Phoranomus seu de potentia et legibus naturae* (1689) et la *Dynamica de potentia et legibus naturae corporae* (1690) occupent une place de premier plan dans le domaine de la physique et en particulier en ce qui concerne le rôle que Leibniz dévolue au principe d'inertie.

3. La démonstration du principe d'inertie dans la *Dynamica de potentia*

Parmi les écrits de jeunesse de Leibniz, ceux qu'il a consacrés à la physique se situent, comme nous l'avons vu, dans une certaine continuité avec les écrits de ses prédécesseurs tels que Hobbes, Descartes et Galilée et constituent à cet égard un point de départ indispensable pour mesurer l'évolution de la pensée de Leibniz en ce domaine. Cependant, les écrits de la maturité, comme la *Dynamica de potentia* et comme d'autres textes de même nature qui datent de la même époque, méritent plus que tous les autres une attention particulière, puisqu'ils permettent d'observer chez lui un changement d'orientation important qui lui permet de se démarquer à la fois de ses prédécesseurs, et de Newton, son contemporain. L'originalité de Leibniz se manifeste à la fois par la méthode utilisée et par la perspective nouvelle qu'il propose pour étudier les mouvements dans la nature. Nous tenterons de montrer dans les sections suivantes que le principe d'inertie y occupe une place considérable et constitue l'une des assises de sa nouvelle physique. Afin de pouvoir mieux mesurer l'ampleur du projet de Leibniz qui se dégage des textes sur la physique issus de la période de maturité, il est nécessaire de considérer au préalable brièvement certains éléments des écrits de la période de transition, soit des années 1675-1686.

Parmi ces éléments, le plus significatif est sans aucun doute le principe métaphysique de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier auquel nous avons fait allusion dans la section précédente. Leibniz mentionne à plusieurs reprises l'importance de ce principe dans ses écrits des années 1676-1680[273]. Ce principe métaphysique se traduit dans le domaine de la physique par un principe de conservation de ce que Leibniz appelle à cette époque la puissance ou la force. Ainsi, dans un document intitulé *Conspectus libelli elementorum physicae*, Leibniz écrit :

> Il se passe dans le corps des choses qui ne peuvent être expliquées par la seule nécessité de la matière : telles sont les lois du mouvement, qui dépendent du principe métaphysique de l'égalité de la cause et de l'effet [...] Il faut maintenant traiter de la force ou puissance; où il faut savoir qu'elle doit être estimée par la quantité d'effet. Or les puissances de l'effet et de la cause sont égales entre elles [...] Il importe de montrer ici que la même quantité de mouvement ne peut se conserver dans le monde, mais qu'il s'y conserve toutefois la même quantité de puissance[274].

La dernière phrase découle du fait que dans le *De corporum concursu*, qui porte essentiellement sur le choc des corps et sur les lois du mouvement qui en découlent, Leibniz constate, à la suite de plusieurs calculs et observations, que la force ou la quantité d'effet qui se conserve lors d'une collision de deux corps ne saurait être mesurée par le produit de la masse par la vitesse de chacun des corps en mouvement. À la suite de cette constatation, Leibniz modifie son approche et se propose de mesurer la force ou la quantité d'effet en s'appuyant sur la loi de la chute des corps de Galilée qui établit un lien entre la hauteur de la chute et la vitesse atteinte à la fin de la chute. Dans l'un des feuillets de ce texte, Leibniz considère alors le comportement de deux masses différentes suspendues à

---

[273] Pour l'origine de ce principe et son introduction dans les écrits de Leibniz, voir Duchesneau (1994), p. 100-108. Vincent Carraud dans une étude récente consacrée à la causalité écrit à ce propos : « L'équivalence de la cause et de l'effet est un axiome fondamental et constant de la physique leibnizienne au point de constituer proprement l'énoncé métaphysique de ce qu'on a appelé le "principe de causalité" : l'*équivalence* de la cause et de l'effet, ou, sous sa forme la plus rigoureusement déployée, l'*équipollence* de la cause *pleine* et de l'effet *entier*. », Vincent Carraud, *Causa sive ratio. La raison de la cause de Suarez à Leibniz*, Paris, PUF, 2002, p. 400.

[274] A, VI, 4, C, 1989., traduit par Fichant (1998), p. 196-197.

des ficelles, qui entrent en collision après qu'elles aient été relâchées à partir de différentes hauteurs. Le résultat de cette étude exhaustive l'amène à conclure que la force qui se conserve est égale au produit de la masse par la hauteur de chute du corps. Par conséquent, puisque les hauteurs sont elles-mêmes proportionnelles aux vitesses finales des corps au carré, Leibniz peut affirmer qu'il y a conservation du produit de la masse par le carré de la vitesse, ce qu'il appelle la force vive, plutôt que conservation de la quantité de mouvement (mv) comme l'affirmait Descartes. Ce principe de conservation de la force vive que présente Leibniz dans le *De corporum concursu* pour le cas des collisions élastiques constitue un exploit remarquable, mais il ne constitue qu'une étape dans l'élaboration de sa dynamique. En ce sens, on doit admettre que le projet de Leibniz d'obtenir un principe général de conservation de la puissance qui se mesure par la quantité d'effet reste encore à l'état embryonnaire. Une étape importante dans la réalisation de ce projet a lieu en 1686 lorsque Leibniz publie dans les *Acta eruditorum* de 1686 un article intitulé *Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem naturalem, secundum quam volunt a Deo eandem quantitatem motus conservari, qua et in re mechanica abutuntur*, dans lequel il présente de façon officielle sa conception du concept de force.

Cet article est important à plusieurs titres. En premier lieu, Leibniz y défend une conception nouvelle de la force et propose ainsi une orientation nouvelle dans la façon de décrire les mouvements des corps dans la nature. En second lieu, il ne fait aucun doute que cet article vaudra à son auteur une notoriété dans le domaine de la philosophie de la nature et suscitera rapidement une controverse avec les cartésiens, controverse qui l'incitera à améliorer la défense de ce nouveau concept de force. Dans son article, Leibniz présente une démonstration de ce qu'il appelle une erreur mémorable de Descartes. Celui-ci, rappelle

Leibniz, associait la conservation de la force motrice dans l'univers à la conservation de la quantité de mouvement totale. Afin de démontrer la fausseté d'une telle assertion, Leibniz fait appel au départ à deux hypothèses admises par les cartésiens. Suivant la première, un corps tombant d'une certaine hauteur acquiert lorsqu'il arrive à la fin de sa chute la même force que celle qui est requise pour le retourner à sa hauteur initiale, à la condition qu'aucune influence extérieure n'intervienne durant le processus; suivant la deuxième hypothèse, la même force est requise pour élever un poids A de 1 livre à la hauteur de quatre toises que pour élever un poids B de quatre livres à la hauteur d'une toise. De plus, Leibniz utilise un résultat expérimental obtenu par Galilée, à savoir que la hauteur de la chute d'un corps est proportionnelle au carré de la vitesse acquise à la fin de la chute. Par la suite, Leibniz démontre facilement que si la force est mesurée par le produit mv, comme le prétendait Descartes, les forces acquises par les corps A et B à la fin de leur chute ne sont pas égales, contrairement à l'une des hypothèses de départ. Afin de corriger cette erreur de Descartes, Leibniz propose que la force soit mesurée à partir de la quantité d'effet qu'elle peut produire, c'est-à-dire à partir du produit de la masse par la hauteur atteinte par un corps lancé avec une certaine vitesse initiale. Puisque cette hauteur est elle-même proportionnelle au carré de la vitesse, la force peut alors être évaluée par le produit mv^2. La démarche utilisée par Leibniz peut être qualifiée d'*a posteriori* dans la mesure où la force est évaluée à partir de ce que Leibniz appelle l'effet violent, c'est-à-dire de l'effet obtenu après que la force se soit dissipée. C'est dans une continuité avec ce résultat, mais suivant une approche plutôt synthétique que Leibniz écrit un peu plus tard la *Dynamica de potentia.* Cependant, avant d'étudier attentivement certains éléments de ce texte important de Leibniz, il est utile de considérer brièvement le *Phoranomus*, écrit peu de temps avant la *Dynamica de potentia*.

3.1. Le changement d'orientation de la physique leibnizienne dans le *Phoranomus seu de potentia et legibus naturae*

Ce texte inachevé constitue une ébauche qui laisse percevoir la direction dans laquelle s'oriente Leibniz pour élaborer sa dynamique[275]. L'élément le plus important qui ressort de ce texte est sans aucun doute le fait que Leibniz tente de développer des outils qui lui permettront de préciser la mesure de la puissance ou de la force motrice et d'en généraliser l'usage à tous les phénomènes impliquant le mouvement. D'un certain point de vue, ce texte se situe dans une continuité avec les écrits antérieurs comme le *De corporum concursu*, puisque Leibniz s'appuie de nouveau sur le principe métaphysique de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier. Cependant, il est possible d'observer dans le *Phoranomus* un changement d'orientation significatif, que Duchesneau qualifie de « tournant du *Phoranomus* ». Pour en comprendre la nature, revenons brièvement sur certains aspects des textes antérieurs. Dans le *De corporum concursu*, par exemple, le principe de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier était appliqué à l'étude des phénomènes observables comme ceux du choc des corps. Ainsi, Leibniz s'appuyait au départ sur les résultats expérimentaux du choc de deux corps suspendus à des ficelles et qui tombent de certaines hauteurs avant d'entrer en collision. Il en avait déduit comme nous l'avons vu que la force motrice devait être mesurée par le produit mv^2 . De plus, Leibniz faisait usage dans sa démonstration de la loi galiléenne de la chute des corps qui elle-même avait été vérifiée par plusieurs expériences. Ces résultats, nous l'avons vu, sont présentés sous une forme plus achevée dans la *Brevis demonstratio.* Compte tenu de ce recours aux

---

[275] Pour une analyse intéressante du *Phoranomus*, voir Duchesneau (1994) p. 151-173 ainsi que son étude récente « Leibniz's Theoretical Shift in the Phoranomus and Dynamica de potentia » in *Perspectives on Science* 6.1&2 (1998) p. 77-109.

résultats de l'expérience et à l'effet obtenu après la dissipation de la force, un tel modèle peut être qualifié dans une large mesure de modèle *a posteriori.* Dans le *Phoranomus*, la démarche de Leibniz est à l'inverse de la précédente, puisqu'il y utilise un modèle *a priori* construit à partir de l'analyse des effets d'un mouvement non contraint, c'est-à-dire libre de toutes les contraintes que sont la gravité, la résistance du milieu ou la présence des autres corps avec lesquels le corps en mouvement pourrait entrer en collision. L'élément le plus important de ce modèle *a priori* est sans aucun doute le caractère d'abstraction à la fois de la démarche utilisée et du type de mouvement considéré au départ. Duchesneau a très bien décrit cet élément dans le commentaire qu'il donne à propos de la nouvelle démarche de Leibniz dans le *Phoranomus* :

> Dans le cheminement démonstratif recherché, il s'agit, par contraste, de considérer de façon abstraite la mesure de la force à partir du mouvement non contraint résultant, pour autant que celui-ci exprime une telle causalité intrinsèque dans et par son seul déroulement uniforme. Mais, en ce nouveau cas, qui correspond à une abstraction par rapport aux conditions du système des choses *hic et nunc*, doit pouvoir s'appliquer la même prémisse fondamentale, le même « fil d'Ariane » précédemment identifié, savoir le principe architectonique d'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier[276].

Il n'est pas utile pour notre propos d'entrer dans les détails de la démarche leibnizienne du *Phoranomus.* Qu'il suffise de mentionner que Leibniz s'y propose, entre autres choses, de démontrer que la détermination de l'effet de la puissance pour le mouvement non contraint est obtenue à partir de l'espace parcouru et de la vitesse de parcours. Il va de soi que l'entreprise du *Phoranomus* est incomplète et qu'elle n'est pas exempte de plusieurs défauts. Nous nous limiterons à en mentionner un seul qui permettra de mesurer le progrès considérable que constituera la *Dynamica de potentia* par rapport au *Phoranomus.* Ainsi, dans le *Phoranomus*, Leibniz décrit le mouvement non contraint comme « *motus aequabilis*

---

[276] Duchesneau (1994), p. 158.

qualis per se est omnis[277] ». Or, on doit admettre, d'une part, que la nature d'un tel mouvement n'est pas donnée de façon complète, puisque Leibniz ne précise pas si ce mouvement uniforme est circulaire ou rectiligne, et, d'autre part, que Leibniz n'en présente aucune justification ou démonstration à partir de principes *a priori* quelconques. On pourrait être tenté de voir dans ce type de mouvement une certaine expression du mouvement inertial contenu dans les deux premières lois de la nature de Descartes, puisqu'il possède le caractère d'uniformité et qu'il n'est soumis à aucune contrainte ou force extérieure, mais il serait prématuré de le considérer ainsi, car il ne possède pas encore le caractère de linéarité que Leibniz lui accordera dans la *Dynamica de potentia*. De plus, on ne voit pas très bien pourquoi le mouvement « *per se* » devrait être uniforme. À cette question et à d'autres du même genre, Leibniz apportera des réponses intéressantes dans la *Dynamica de potentia* et développera son projet de construire une dynamique sous une forme plus complète et plus cohérente que dans le *Phoranomus*.

3.2. Les principes architectoniques

Dans la vue d'ensemble qu'il donne au début de la *Dynamica de potentia*, Leibniz affirme que son ouvrage est divisé en deux parties : dans la première, il traitera de la dynamique en tant que telle ou abstraite des choses, dans la deuxième, de la dynamique concrète, c'est-à-dire de ce qui touche au système des choses[278]. Ce texte majeur de Leibniz présente un grand intérêt dans la mesure où il diffère sur plusieurs points des œuvres antérieures qu'il a consacrées à la physique. Leibniz y utilise une approche *a priori* et suit systématiquement la méthode des traités de géométrie avec tout l'appareil des définitions et des propositions

---

[277] G. W. Leibniz, « Phoranomus seu De potentia et legibus naturae. Dialogus II », *Physis*, 28 (1991), p. 821.
[278] « *Puto, totum opus dividi posse in duas partes, continentes Dynamica simplicia seu a rebus abstracta, et Dynamica concreta circa ea quae in systemate rerum contingunt.* », GM, VI, 285.

démontrées *more geometrico*. De plus, Leibniz s'appuie dans la formulation de plusieurs définitions et dans les constructions qui en découlent sur des principes métaphysiques qu'il a qualifiés lui-même dans d'autres travaux de principes architectoniques. Il est possible d'affirmer que ce texte illustre mieux que tous ses autres écrits l'effort remarquable de Leibniz dans le but de justifier ou de démontrer les nouveaux concepts qu'il propose comme ceux d'action formelle, d'effet formel, de puissance motrice absolue, ainsi que les grands principes de conservation de la puissance qui peuvent être utilisés pour décrire les mouvements des corps et les changements de mouvement lorsqu'il y a des interactions entre ces corps. Nous ne considérerons que certains extraits de cette œuvre, en particulier ceux où Leibniz présente le mouvement simplement simple (*motus simpliciter simplex*) et en démontre les propriétés de même que d'autres extraits dans lesquels il fait usage de ce type de mouvement pour construire des éléments importants de sa dynamique. Ce choix a le mérite de bien illustrer la méthode *a priori* que privilégie Leibniz ainsi que les principes architectoniques dont il fait usage. Mais le point le plus important qui ressort de ces extraits est sans aucun doute qu'ils éclairent le statut du principe d'inertie dans la dynamique de Leibniz.

Dans la première partie de la *Dynamica de potentia* qui traite de la dynamique abstraite, en tant qu'elle est construite à l'extérieur des phénomènes concrets, Leibniz présente dans une première section des définitions et des propositions sur la quantité de matière et sur son estimation dans l'univers. La deuxième section de cette première partie porte sur le mouvement et la vitesse. L'auteur présente d'abord certaines définitions et propriétés pour le mouvement en général, le mouvement uniforme, le mouvement équidistribué et la vitesse qui le caractérise, le mouvement qui est à la fois uniforme et équidistribué. Ces notions constituent les quatre premiers chapitres de cette deuxième section. Le chapitre suivant, qui nous intéresse en particulier, est intitulé « *De motu simpliciter simplice* ». C'est précisément dans cette partie que Leibniz présente une démonstration du principe d'inertie. Pour saisir l'argumentation qu'il présente, il est nécessaire de rappeler que pour Leibniz, les lois de la nature sont des vérités contingentes qui ne découlent pas de nécessités géométriques ou logiques, mais de nécessités métaphysiques dans la mesure où elles sont l'expression de la volonté divine déterminée à choisir le meilleur. Ces nécessités métaphysiques se traduisent ou s'expriment par des principes architectoniques qui en dernière analyse se subordonnent tous au principe de la raison suffisante. Parmi ces principes architectoniques, il en est un qui est appelé à jouer un rôle prédominant en ce qui concerne les lois de la nature, il s'agit du principe de finalité.

3.2.1. Le principe de finalité

En effet, Leibniz réitère à plusieurs reprises que pour comprendre les lois de la nature, il est nécessaire de recourir aux causes finales. Ainsi, à l'article XIX du *Discours de métaphysique*, écrit en 1686, qui porte sur l'utilité des causes finales dans la physique, Leibniz, dans une allusion à Descartes, fait une mise en garde sur le danger de bannir les causes finales de la physique et affirme pour en justifier le recours: « Je tiens au contraire que c'est là où il faut chercher le principe de toutes les existences et des lois de la nature, parce que Dieu se propose toujours le meilleur et le plus parfait[279]. » Dans le *Tentamen anagogicum*, écrit en 1697, il reprend la même idée : « La recherche des causes finales dans la physique est justement la pratique de ce que je crois qu'on doit faire, et ceux qui les ont

[279] GP, IV, 445.

voulu bannir de leur philosophie, n'en ont pas assez considéré l'importante utilité[280]. » Un peu plus loin dans le même texte, Leibniz ajoute que « les lois du mouvement ne sauraient être expliquées par des principes purement géométriques, ou de la seule imagination [...] puisqu'on peut montrer, qu'elles ont leur origine dans la sagesse de l'auteur, ou dans le principe de la plus grande perfection, qui les a fait choisir[281] ». Une fois admise l'importance d'une recherche des causes finales dans la physique de Leibniz, il est important d'observer que pour ce dernier le but de cette recherche n'est pas seulement de permettre d'admirer la sagesse divine, mais aussi de connaître le fonctionnement de la nature[282]. C'est précisément dans cette perspective qu'il faut envisager le rôle du *principe de convenance*, aussi appelé principe du meilleur, qui joue un rôle prédominant dans la démonstration de Leibniz. Couturat explique en quoi consiste cette finalité qu'il fait régner dans la nature : « Pour cela, il faut remonter à l'origine de ce principe, et se rappeler qu'il est destiné à régir le choix que Dieu fait entre les divers possibles qui ne peuvent tous coexister [...] Le choix que Dieu fait entre tous les possibles est déterminé rigoureusement par sa sagesse et sa bonté, et peut être calculé mathématiquement[283]». Couturat ne fait que reprendre ici les propos le Leibniz sur la *convenance* dans la *Monadologie.* Ainsi, aux articles 53 et 54, il écrit :

> 53. Or, comme il y a une infinité d'univers possibles dans les idées de Dieu et qu'il n'en peut exister qu'un seul, il faut qu'il y ait une raison suffisante du choix de Dieu, qui le détermine à l'un plutôt qu'à l'autre.

---

[280]GP, VII, 271.

[281] *Ibid.*, p. 271-272, Voir aussi la lettre à Philippi, du 22 novembre 1679, où il affirme : « Pour moi je crois que les lois de la Mécanique qui servent de fondement à tout le système dépendent des causes finales, c'est-à-dire de la volonté de Dieu déterminée à faire ce qui est le plus parfait, et que la matière ne prend pas toutes les formes possibles mais seulement les plus parfaites », GP, IV, 281.

[282] Ainsi dans la « Réponse aux réflexions qui se trouvent dans le 23 *Journal des Savants* de cette année touchant les conséquences de quelques endroits de la philosophie de Descartes (1697) », Leibniz écrit : « Ainsi on voit que les causes finales servent en Physique, non seulement pour admirer la sagesse de Dieu, ce qui est le principal, mais encore pour connaître les choses et les manier. », *G*P, IV, 340.

[283] L. Couturat, *op. cit.*, p. 224-225.

> 54. Et cette raison ne peut se trouver que dans la *convenance*, ou dans les degrés de perfection, que ces mondes contiennent, chaque possible ayant droit de prétendre à l'existence à mesure de la perfection, qu'il enveloppe[284].

Pour comprendre comment intervient ce principe métaphysique de la *convenance* dans le cas particulier de la définition du mouvement simplement simple, il est nécessaire d'approfondir l'analyse de ce principe en considérant deux corollaires qui en sont le prolongement, c'est-à-dire, le *principe de la simplicité des lois de la nature* et le *principe de continuité.*

3.2.2 Le principe de simplicité

Un exemple du *principe de simplicité des lois de la nature* que Leibniz cite fréquemment est celui par lequel « la nature a eu pour but de conduire les rayons d'un point donné à un autre point donné par le chemin le plus facile[285] ». Ainsi, dans les *Nouveaux essais sur l'entendement humain*, Leibniz fait part de l'utilité qu'il a su tirer de ce principe dans ses travaux sur l'optique : « Par exemple cette maxime, que la nature agit par les plus courtes voies, ou du moins par les plus déterminées, suffit seule pour rendre raison de toute l'optique, catoptrique et dioptrique, c'est-à-dire de ce qui se passe hors de nous dans les actions de la lumière, comme je l'ai montré autrefois[286], et M. Molineux l'a fort approuvé dans sa *Dioptrique*, qui est un très bon livre[287]. » Leibniz présente d'ailleurs dans le *Tentamen anagogicum* un échantillon de sa méthode pour déduire les lois de la réflexion et

---

[284] GP, VI, 616, voir aussi le commentaire de Leibniz dans les *Principes de la nature et de la grâce* : « Car j'ai trouvé qu'il y faut recourir aux *causes finales*, et que ces lois [du mouvement] ne dépendent point du *principe de la nécessité*, comme les vérités logiques, arithmétiques et géométriques, mais du *principe de la convenance*, c'est-à-dire du choix de la sagesse. », GP, VI, 603, voir aussi dans les *Essais deThéodicéé* : « J'ai fait voir que [les lois du mouvement] ne sont pas d'une nécessité absolument géométrique, comme Spinoza paraît l'avoir cru; et qu'elles ne sont pas purement arbitraires non plus, quoique ce soit l'opinion de M. Bayle et de quelques philosophes modernes; mais qu'elles dépendent de la *convenance*, comme je l'ai déjà marqué ci-dessus, ou de ce que j'appelle le *principe du meilleur*. », GP, VI, 44.

[285] GP, IV, 340.

[286] Il s'agit de l'*Unicum opticae, catoptricae et dioptricae principium* de 1682

[287] GP, V, 404.

de la réfraction. Dans ce texte qui a pour but de justifier la recherche des causes finales dans la physique, Leibniz donne un renseignement intéressant qui, selon Couturat, révèle l'origine logico-mathématique de son *principe du meilleur*, dans la forme succédanée qu'il prend dans ce *principe de simplicité*. Après avoir souligné que le *principe de perfection* ne se borne pas au général, mais « descend aussi dans le particulier des choses et des phénomènes[288] », Leibniz affirme : « [...] il en est à peu près comme la méthode de *Formis Optimis*, c'est-à-dire *maximum aut minimum praestantibus*, que nous avons introduite dans la Géométrie au-delà de l'ancienne méthode *de maximis et minimis quantitatibus*[289] ». Dans quelle mesure l'application de cette méthode mathématique qui consiste à rechercher le chemin le plus simple, qui pourra être le plus grand ou le plus petit, peut-elle être transposée dans le domaine de la mécanique lorsque Leibniz se propose de déterminer le mouvement simplement simple, qui est dans les faits le mouvement le plus simple?

Il est possible d'apporter à cette question certains éléments de réponses qui aideront à mieux comprendre l'articulation de la démonstration des propriétés du mouvement simplement simple que donne Leibniz. En effet, il est possible de faire un rapprochement entre ce mouvement simplement simple que Leibniz décrit comme rectiligne et certains énoncés tirés de la *Characteristica Geometrica* qui portent sur la définition de la droite. Cet ensemble de fragments porte sur la géométrie et certains d'entre eux illustrent les différents essais de Leibniz dans le but de construire une nouvelle géométrie qui serait différente de celles d'Euclide et de Descartes. Ainsi, la définition de la droite que donne Leibniz dans un

---

[288] GP, VII, 272.

[289] *Ibid.*, p. 272. Leibniz fait ici allusion à la *Nova methodus pro maximis et minimis* qu'il a publiée dans les *Acta eruditorum* de 1684. Dans cet article, Leibniz présente les principaux éléments du calcul différentiel qui permettent de déterminer le maximum ou le minimum d'une courbe géométrique d'une façon plus efficace et plus rapide que l'ancienne méhode. Dans cette dernière, il s'agissait de déterminer le moment ou le lieu où une courbe cesse de croître pour ensuite diminuer (ou l'inverse) afin d'en déterminer le maximum (ou le minimum).

de ces fragments est basée sur la notion du *mouvement le plus simple* : « Un point A se mouvant d'un point B vers un point C de la manière la plus simple, autrement dit d'une manière déterminée par ces deux seuls points, le mouvement se fera en ligne droite[290]. » Certes, cette définition ne représente qu'un essai parmi plusieurs tentés par Leibniz pour définir la droite, elle ne constitue sans doute pas la partie la plus significative de ses travaux dans le domaine de la géométrie, mais elle a le mérite de laisser entrevoir comment le *principe de simplicité*, dans sa fonction heuristique, peut avoir une portée qui dépasse l'application au cas des rayons lumineux qu'en a présentée l'auteur du *Tentamen anagogicum.* D'ailleurs, Leibniz lui-même, dans ce texte où il affirme clairement que la nature est gouvernée par des déterminations architectoniques, conclut en laissant entrevoir la possibilité d'utiliser de telles raisons architectoniques pour les lois du mouvement : « Quelqu'un niera peut-être ce que j'ai avancé déjà ci-dessus à l'égard de ces lois qui gouvernent le mouvement, et croira qu'il y en a démonstration tout à fait géométrique, mais je me réserve de faire voir le contraire dans un autre discours, et de montrer qu'on ne saurait les dériver de leurs sources qu'en supposant des raisons architectoniques[291]. » Parmi celles-ci, Leibniz reconnaît qu'une des plus importantes est sans aucun doute la loi de la continuité : « Une des plus considérables que je crois avoir introduites le premier dans la Physique est la loi de la continuité, dont j'ai parlé il y a plusieurs années dans les *Nouvelles de la Rep. des Lettres*, où j'ai montré par des exemples comment elle sert de pierre de touche des dogmes[292]. » Or, dans la mesure où cette loi joue un rôle important dans la définition du mouvement simplement simple et dans la démonstration des propriétés qui en découlent, il est nécessaire d'en donner un description sommaire.

---

[290] « *Si punctum A moveatur a puncto B versus punctum C simplicissimo modo, sive ab his solis duobus punctis determinato, erit motus in linea recta* » L. H. XXXV, vol. I, Nr. 2, Bl. 8-9. in *Ibid*,. p. 74-75.
[291] GP, VII, 279.
[292] *Ibid.*, p. 279. Leibniz fait référence à l'article de 1687 que nous commentons à la section suivante.

3.2.3. Le principe de continuité

La plupart des commentateurs mettent en relief le rôle considérable de ce principe dans la physique et dans les mathématiques de Leibniz. Dans *Leibniz et la méthode de la science*, Duchesneau consacre une section substantielle à ce principe et reconnaît d'entrée de jeu son importance : « Parmi les principes architectoniques qui sous-tendent l'édifice de la science leibnizienne, le principe de continuité est probablement celui dont le rôle est le plus général et le plus fondamental[293]. » Ce n'est qu'en 1687 que le principe apparaît de façon formelle dans un écrit de Leibniz. Celui-ci publie alors dans les *Nouvelles de la République des Lettres* la *Lettre de M. L. sur un principe utile à l'explication des lois de la nature par la considération de la sagesse divine, pour servir de réplique à la réponse du R. P. D. Malebranche*. Dès le début de sa lettre, Leibniz mentionne l'origine de ce principe et en précise les champs d'application : « [Ce principe] a son origine de l'infini, il est absolument nécessaire dans la Géométrie, mais il réussit encore dans la physique, parce que la souveraine sagesse qui est la source de toutes choses agit en parfait géomètre, et suivant une harmonie à laquelle rien ne se peut ajouter[294]. » Par la suite, Leibniz en donne l'énoncé :

> Lorsque la différence de deux cas peut être diminuée au-dessous de toute grandeur donnée *in datis* ou dans ce qui est posé, il faut qu'elle se puisse trouver aussi diminuée au-dessous de toute grandeur donnée *in quaesitis* ou dans ce qui en résulte, ou pour parler plus familièrement : lorsque les cas (ou ce qui est donné) s'approchent continuellement et se perdent enfin l'un dans l'autre, il faut que les suites ou événements (ou ce qui est demandé) le fassent aussi[295].

Dans sa lettre, Leibniz illustre l'utilité d'un tel principe par des exemples tirés des mathématiques et de la physique ; il étudie en particulier, à la lumière de ce principe, la deuxième règle proposée par Descartes pour le choc des corps. Dans celle-ci, le philosophe

---

[293] Duchesneau (1993), p. 311.
[294]GP, II, 52.
[295] GP, III, 52.

français considère deux corps B et C qui se déplacent l'un vers l'autre avec des vitesses égales, le corps B étant légèrement plus grand que le corps C. Descartes affirme qu'après la collision, C sera réfléchi avec la même vitesse qu'il avait avant la collision, alors que B continuera son mouvement avec sa vitesse initiale. Or, selon Leibniz, si le corps B est plus grand que le corps C d'une variation très petite, à la limite presque nulle, cette deuxième règle devrait se réduire à la première règle du choc de Descartes, suivant laquelle deux corps égaux B et C qui se déplacent l'un vers l'autre avec des vitesses égales sont réfléchis avec des vitesses égales aux vitesses initiales. Aux yeux de Leibniz, la deuxième règle de Descartes est fausse, puisqu'elle contrevient au principe de continuité. Au-delà de cet exemple très pertinent qui concerne le choc des corps, le principe de continuité a fait l'objet de plusieurs utilisations dans l'élaboration de la science leibnizienne[296]. Nous nous limiterons à observer la fonction heuristique que lui donne Leibniz dans sa description du mouvement simplement simple tirée de la *Dynamica de potentia.* Afin de bien saisir la nouveauté et l'originalité de la démarche de Leibniz dans cette description, il est important de souligner que son approche du principe d'inertie jusqu'à ce moment diffère peu de celle de ses prédécesseurs, Hobbes, Descartes et même de son contemporain Newton dans la mesure où une sorte de pétition de principe ou même de tautologie n'y est pas absente. En effet, en affirmant que le mouvement rectiligne uniforme persiste en l'absence d'une force extérieure et en définissant la force extérieure comme ce qui vient modifier l'état de mouvement rectiligne uniforme, ces auteurs affirment dans les faits que le mouvement rectiligne uniforme persiste tant qu'il ne change pas. Or, la démarche utilisée dans la *Dynamica de potentia* est très différente de celle-ci, puisque Leibniz se propose, premièrement de démontrer *more geometrico* que le mouvement le plus simple est celui

---

[296] Pour les applications du principe de continuité, voir Duchesneau (1993), p. 336-379.

auquel sont attribuées un certain nombre de propriétés parmi lesquelles les plus importantes sont la linéarité et l'uniformité de la vitesse, et deuxièmement, de démontrer par un syllogisme que tout mouvement libre par soi est un mouvement simplement simple. En plus de constituer un renversement par rapport aux présentations antérieures du principe d'inertie, la démonstration leibnizienne constitue un exemple intéressant du modèle épistémologique qu'il privilégie. La méthode utilisée par Leibniz repose sur l'hypothèse que la nature obéit à des raisons architectoniques. Par la suite, il utilise le modèle de la « chaîne de définitions » qui consiste à produire une définition dont l'énoncé reflète l'hypothèse de départ[297] et à en déduire une chaîne de propositions en suivant la méthode géométrique, la démonstration consistant ainsi, pour reprendre l'expression de Leibniz, en un enchaînement de définitions[298]. Ce procédé est particulièrement évident dans l'exemple du mouvement simplement simple que nous étudions dans la section suivante, puisque la définition qu'il en donne repose essentiellement sur le principe architectonique de la convenance, qui est l'expression d'une finalité dans la nature. Non seulement cette définition reflète-t-elle l'hypothèse que la nature obéit à des raisons architectoniques, mais elle permet en outre de déduire les propriétés géométriques de ce mouvement. En dernière analyse, l'évaluation d'un tel modèle repose sur la conformité avec les données de l'expérience, sur son aptitude à expliquer les phénomènes de la nature et sur sa fécondité à prévoir des faits nouveaux.

3.3. La démonstration du principe d'inertie dans la *Dynamica de potentia*

Leibniz présente d'abord la définition du mouvement simplement simple :

---

[297] Pour le rôle et l'utilisation des hypothèses par Leibniz, voir Duchesneau (1993), p. 169-258.

[298] « *Est enim Demonstratio nil nisi catena definitionum* », Lettre à Conring, GP, I, 174., « *Ego semper putavi, Demonstrationem nihil aliud esse quam catenam definitionum, vel, pro definitionibus, propositionum jam ante ex definitionibus demonstratarum aut certe assumtarum.* », Lettre à Conring, 3 janvier 1678, GP, I, 185.

> *Definitio 1. Motus simpliciter simplex est, cum motus punctorum mobilis dati prorsus conveniunt sibi et inter se, ita ut non possint magis*[299].
>
> Le mouvement est simplement simple, lorsque les mouvements des points d'un mobile conviennent en eux-mêmes [dans le temps] et entre eux [dans l'espace], de telle sorte qu'ils ne puissent le faire davantage.

Avant de considérer les propriétés d'un tel mouvement, il est nécessaire d'étudier d'abord la définition et l'explication qu'en donne Leibniz. Or, le terme « *conveniunt* » qui est au centre de cette définition nous permet de constater qu'elle s'articule autour du principe architectonique de la *convenance.* Leibniz parle des mouvements des points d'un mobile qui *conviennent*, on ne peut plus ([...] *conveniunt, ita ut non possint magis*) et donc, dans les faits, utilise l'idée d'un maximum de convenance pour les mouvements de ces points. Pour en comprendre le sens, il est nécessaire de s'arrêter à l'explication qu'ajoute Leibniz à cette définition :

> Ceci se produit lorsque l'état d'un point ne peut être distingué d'un autre [état] qui lui est antérieur ou postérieur, ni un point d'un autre, pour autant qu'on observe leur mouvement. Pour ces points dont les existences sont toujours similaires et qui sont posés de façon similaire entre eux, il n'existe aucun principe pour les distinguer entre eux, bien que peut-être les points peuvent être distingués par rapport aux corps, par la situation qu'ils ont dans les corps, ce qui ne peut être évité, de sorte que je ne parle pas des qualités par lesquelles les parties d'un corps peuvent varier, pour lesquelles il n'y a pas de raison. Il suffit donc que les mouvements des points observés *per se* conviennent autant qu'ils peuvent[300].

Le type de raisonnement utilisé par Leibniz rappelle la définition qu'il a donnée de l'analogie : « Ce qui fonde l'analogie, c'est que les choses qui conviennent ou sont opposées dans une multiplicité d'éléments, nous considérons qu'elles conviennent ou sont

[299]GM, VI, 341.

[300] « *Hoc est cum nec unus puncti status ab alio priore aut posteriore, nec unum punctum ab alio discerni potest, quatenus tantum motum eorum spectatur. Motibus quippe semper existentibus similibus et similiter positis inter se, nullum est ex ipsis discernendi principium, etsi fortasse discerni puncta possint respectu corporum, per situm scilicet quem habent in corporibus, quod evitari non potest, ut taceam qualitates quibus corporis partes variantur, quorum hic non habetur ratio. Sufficit ergo motus punctorum per se spectatos quantum possunt convenire.* », GM, VI, 341-342.

opposées aussi dans des données voisines des premières[301]. » Cependant, c'est plus au principe de continuité, qui serait un cas particulier de l'analogie, qu'il convient de se référer[302]. Le commentaire que formule Duchesneau à la suite de l'explication donnée par Leibniz va d'ailleurs dans ce sens : « Il ressort par implication que la loi de continuité sert à construire une représentation abstraite du mouvement fondamental permettant de surmonter les apories de la pure et simple indiscernabilité[303]. » Le maximum de convenance entre les états des points considérés n'implique pas une identité de ces états, ou s'il l'on veut une indiscernabilité, ce qui aurait lieu s'il n'y avait pas de mouvement, mais il implique plutôt que, le mouvement étant posé, un état donné diffère le moins possible d'un état antérieur. Afin de procéder à cette représentation abstraite du mouvement simplement simple, Leibniz utilise certains concepts qui ont leur origine dans la géométrie, comme ceux de la *congruence* et de la *similitude.* Ce dernier concept apparaît d'ailleurs explicitement dans l'explication de la définition du mouvement simplement simple citée plus haut. Ainsi, Leibniz parle dans son explication de « points dont les existences sont toujours similaires et qui sont posés de façon similaire entre eux ». Selon Leibniz, deux objets sont similaires quand ils sont indiscernables lorsqu'on les considère séparément[304]. C'est d'ailleurs en ayant recours à cette notion de la similitude que Leibniz a souvent défini les figures fondamentales de la géométrie et en particulier celle de la droite. Ainsi, on trouve dans le fragment *In Euclidis πρωτα* une définition de la droite construite à partir de ce concept de

---

[301] « *Analogie autem in eo fundatur, ut quae in multis conveniunt aut opposita sunt, ea in datis quoque vicinis ad priora convenire aut opposita esse suspicemur.* », dans Louis Couturat, *Opuscules et fragments inédits de Leibniz,* Paris, Felix Alcan, 1903, p. 174.

[302] Michel Serres explique que l'analogie est plus générale que le principe de continuité dans la mesure où elle porte sur une multiplicité d'éléments qui sont dans une relation de voisinage, d'où est exclue toute considération de priorité ou de postériorité. En ce sens , « le principe de continuité est passage à la limite (du voisinage en général à la simple raison) du principe qui fonde l'Analogie. » dans Michel Serres, *Le système de Leibniz et ses modèles mathématiques, t.I*, Paris, PUF, , 1968, p. 61

[303] Duchesneau (1994), p. 183.

[304] « *Itaque, si duo sint similia, ea per se sigillatim discerni non possunt.* », GM, VII, 276

la similitude: « La droite est la ligne dont n'importe quelle partie est semblable au tout[305]. »

De même, au fragment II de la *Characteristica Geometrica*, Leibniz utilise là encore cette notion de *similitude* pour définir la droite :

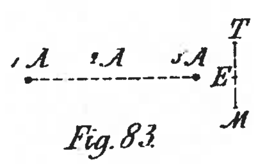
> La *Droite* est la ligne dont tous les éléments se comportent de manière similaire. Il est impossible en effet de dire que $_4$B se trouve avec $_3$B dans un rapport différent de $_3$B avec $_2$B ou $_4$B avec[…]
> La droite est la ligne dont toutes les parties ont une situation similaire[306].

Afin de voir comment la démonstration des propriétés du mouvement simplement simple intègre ces concepts géométriques en les subordonnant au principe de la convenance, considérons les deux premières propositions qui décrivent les propriétés du mouvement simplement simple. Celles-ci sont les plus importantes, puisqu'elles décrivent les caractères du mouvement inertial sous sa forme canonique.

Proposition 1.

Le mouvement simplement simple est uniforme[307].

Leibniz commente ainsi une représentation géométrique de ce mouvement :



La ligne horizontale représente la distance parcourue et la ligne verticale le temps écoulé.

Fig. 10 — *Mouvement uniforme*

Source : GM, VI, *Dynamica de potentia*,

[305] « *Recta est linea, cujus pars quaevis est similis toti.* », GM, V, 185.

[306] « *Recta est linea in qua omnia similiter se habent. Non enim potest dici $_4B$ ad $_3B$ aliter se habere quam $_3B$ ad $_2B$ vel $_4B$ ad* […] *Recta linea est cuius partes quaelibet similiter sitae sunt.* », L. H. XXXV, vol. 1, Nr. 11, Bl. 25 in *Charateristica geometrica*, p. 64-65.

[307] « *Proposition 1. Motus simpliciter simplex est uniformis.* », GM, VI, 342.

Le point A parcourt une distance $_1A_2A$ durant le temps TE et une distance $_2A_3A$ durant le temps EM égal à TE. Leibniz affirme alors que la distance $_1A_2A$ est égale à la distance $_2A_3A$, autrement il n'y aurait pas suffisamment de convenance entre les mouvements antérieur et postérieur et ceux-ci ne *conviendraient* pas, ce qui vient en contradiction avec la définition du mouvement simplement simple. Par conséquent, si le point du mobile parcourt des distances égales en des temps égaux, son mouvement est dit uniforme en vertu de la définition du mouvement uniforme, que Leibniz a donnée précédemment au chapitre II de la même section. C'est donc au modèle de la congruence, qui découle du principe de convenance, que Leibniz a recours dans ce cas pour démontrer l'uniformité du mouvement. Dans la proposition suivante la rectilinéarité du mouvement est démontrée.

Proposition 2. Définition 2.

Le mouvement simplement simple est rectiligne. Le mouvement rectiligne est celui dans lequel un point quelconque du mobile décrit une ligne droite[308].

Afin de prouver cette proposition, Leibniz utilise une stratégie quelque peu différente. Il imagine qu'un point du mobile parcourt une ligne $_1A_2A_3A$ et tente de démontrer que cette ligne doit être une droite. Pour ce faire, il formule au départ l'hypothèse que la ligne $_1A_2A_3A$ n'est pas une droite et en utilisant la définition du mouvement simplement simple donnée précédemment, il prouve qu'on arrive à une conclusion absurde. Ce type de démonstration, qui est à l'exemple de ceux utilisés en géométrie, utilise encore une fois le principe de convenance et les modèles de la similitude et de la congruence qui en

---

308 « *Motus simpliciter simplex est rectilineus. Rectilineus autem motus est in quo unumquodque punctum mobilis describit lineam rectam.* » *Ibid.*, p. 342.

découlent. Ainsi, Leibniz présente une ligne non-droite où sont identifiés les trois points considérés.

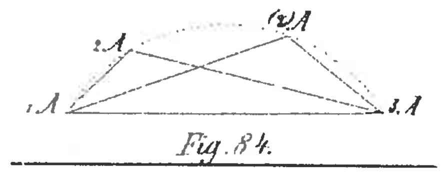


Fig. 11 — *Mouvement d'un point le long d'une courbe*

Source : GM, VI, *Dynamica de potentia*, figure 84.

> Soit un point ${}_2A$ quelconque qui n'est pas en ligne droite avec les points du début et de la fin ${}_1A$ et ${}_3A$ de sorte que les lignes droites ${}_1A_2A$ et ${}_3A_2A$ qui joignent ces points font entre elles un angle ${}_1A_2A_3A$. Or, puisque les mouvements antérieur et postérieur *conviennent* de par la définition du mouvement simplement simple, l'angle ${}_1A_2A_3A$ est toujours le même, quelque que soit le lieu durant le mouvement où est choisi le point ${}_2A$ ou ${}_{(2)}A$, ainsi la ligne ${}_1A_2A_{(2)}A_3A$ sera un arc de cercle. Mais cela ne peut se produire. Si on joint la ligne ${}_1A_3A$, il est nécessaire (pour le mouvement simplement simple) que l'angle ${}_2A_1A_3A$ soit égal à l'angle ${}_{(2)}A_3A_1A$; et puisque l'angle au point ${}_2A$ est égal à l'angle au point ${}_{(2)}A$, alors le troisième angle dans les triangles ${}_1A_2A_3A$ et ${}_1A_{(2)}A_3A$ doit être le même, ces derniers sont alors des triangles équiangulaires, et puisque ces triangles ont un côté commun ${}_1A_3A$, ils sont congrus, de sorte que le côté ${}_2A_3A$ sera égal au côté ${}_{(2)}A_3A$, et par conséquent, durant le mouvement tous les points du mobile A qui sont à des positions intermédiaires comme ${}_2A$ et ${}_{(2)}A$ seront toujours à une égale distance du point final du mouvement ${}_3A$, ce qui est absurde, car alors le mobile ne parviendrait jamais au point ${}_3A$ de cette façon. Il est donc nécessaire que les droites ${}_1A_2A$ et ${}_3A_2A$ ne fassent aucun angle entre elles ni non plus avec la droite ${}_1A_3A$, il est donc nécessaire que le mouvement ${}_1A_2A_3A$ se fasse en ligne droite, c'est-à-dire que le point ${}_2A$ tombe sur la droite ${}_1A_3A$[309].

La démonstration proposée par Leibniz est quelque peu laborieuse. Le point sensible réside dans l'affirmation faite au départ, que l'angle ${}_1A_2A_3A$ doit demeurer constant au cours du temps pour satisfaire au principe de convenance. Si le temps est quelconque, on ne voit pas très bien comment cet angle devrait demeurer constant. Quoi qu'il en soit, le point important est de reconnaître que sa démonstration est basée sur le modèle de la similitude.

[309] *Ibid.*, p. 342-343.

Le triangle $_1A_2A_3A$ doit être semblable au triangle $_1A_{(2)}A_3A$ si on veut satisfaire au critère du maximum de convenance. Leibniz aurait pu, suivant la même logique, baser sa démonstration sur le fait que le déplacement $_1A_2A$ doit être semblable au déplacement $_2A_3A$, ce qui ne peut se produire si ces lignes n'ont pas la même orientation. Au contraire, si le point $_2A$ est sur la ligne $_1A_3A$, les déplacements $_1A_2A$ et $_2A_3A$ ont la même orientation et sont donc similaires, puisqu'ils sont indiscernables lorsqu'ils sont considérés séparément. C'est d'ailleurs de cette manière que Leibniz définissait la droite dans certains des passages tirés du fragment II, de la *Characteristica geometrica*. Mentionnons en particulier la définition suivante de la droite qui recouvre l'essentiel de la démonstration proposée par Leibniz : « La droite est la trajectoire d'un point déplacé de façon à conserver une situation similaire par rapport aux lieux qu'il parcourt. Telle est la définition la plus vraie de la droite[310]. » Par ailleurs, Leibniz aurait pu aussi utiliser une méthode semblable à la méthode de *Formis Optimis* qu'il avait utilisée en optique pour déterminer le parcours optique le plus simple, il aurait pu ainsi obtenir que le chemin le plus simple entre les points $_1A_3A$ est la ligne droite. Ces propositions 1 et 2, dans lesquelles Leibniz considère le mouvement d'un seul point du mobile au cours du temps, représentent les deux caractères fondamentaux du mouvement inertial, l'uniformité et la rectilinéarité. Dans les autres propositions, Leibniz considère le mouvement simultané de deux points du même mobile au cours du temps; il arrive ainsi à décrire de manière encore plus générale la nature et les propriétés du mouvement simplement simple. Nous reproduisons ces propositions sans considérer les démonstrations qu'en donne l'auteur. Celles-ci sont toutes articulées autour de la notion de convenance entre les points considérés.

[310] Phrases barrées : « *recta est via puncti ita moti ut similem ad ea quae percurrit loca situm servet. Haec est verissima definitio rectae.* », L. H. XXXV, vol. 1, Nr. 11, Bl. 25 in *La caractéristique géométrique*, p. 64-65

Proposition 3. Définition 3. Le mouvement simplement simple est « *consentiens* », c'est-à-dire, que les points du mobile conservent les distances qu'ils ont entre eux au cours du mouvement, comme dans un corps rigide.

Proposition 4. Le mouvement simplement simple est également distribué (*aequidistributus*), c'est-à-dire que deux points A et B du mobile parcourent des distances égales en des temps égaux.

Proposition 5. Définition 4. Le mouvement simplement simple est également dirigé (*aequidirectus*), c'est à dire que deux points du mobile se déplacent sur des lignes parallèles.

Proposition 6. Si le mouvement est uniforme, également distribué, rectiligne et également dirigé, il est simplement simple.

Proposition 7. Un point quelconque qui fait partie d'un mouvement simplement simple est lui-même mû d'un mouvement simplement simple[311].

Ces sept propositions, qui ont un caractère abstrait, à la limite purement mathématique, ne sauraient constituer à elles seules ce qu'il est convenu d'appeler le principe d'inertie. En effet, il y manque un élément important qui puisse les relier au monde physique, à l'ordre des phénomènes, et qui puisse par le fait même constituer une base sur laquelle les concepts fondamentaux de la dynamique seront construits. Voilà pourquoi Leibniz ajoute une huitième et dernière proposition, la plus importante sans doute, qui vient remplir ce rôle et donne ainsi un sens aux propositions précédentes.

Propositio 8.

Omnis motus per se est simpliciter simplex .
Tout mouvement par soi est simplement simple[312].

La démonstration relativement courte de cette proposition que donne Leibniz a la forme d'un syllogisme : « En effet toutes les choses *per se* demeurent entièrement telles qu'elles sont, *per se*, dis-je, c'est-à-dire à moins que ne survienne (*accidat*) d'un autre lieu une

[311]GM, VI, 343-345.
[312] *Ibid.*, p. 345.

raison de changement. Or, un mouvement qui demeure entièrement tel qu'il est (ou d'une façon telle qu'il ne puisse l'être davantage) est simplement simple (par la def. 1 donnée ci-haut)[313]». La première partie de la démonstration est dans les faits un énoncé de l'axiome de raison suffisante. Déjà, dans la lettre à Foucher (1675), Leibniz donnait une formulation de cet axiome presque équivalente à celle présentée ci-dessus : « Car toute chose demeure dans l'état où elle est, s'il n'y a rien qui la change[314]. » L'élément nouveau qui est ajouté dans le cas présent est l'expression « *per se* », qui a déjà été utilisée dans le *Phoranomus*[315]. Leibniz indique dans son énoncé que cette expression signifie l'absence d'une raison de changement (*id est nisi accidat aliunde supervenire rationem mutationis*) qui puisse modifier l'état de la chose en question. Ainsi, la chose ou le mouvement de cette chose doit être considéré indépendamment des contraintes extérieures ou des obstacles qui pourraient modifier ce mouvement. Dans une lettre à De Volder, Leibniz précise la nature du corps *per se,* qui ne se rencontre pas tel quel dans la nature, mais qu'on peut par abstraction isoler des corps environnants : « Mais bien qu'il n'y ait pas réellement dans la nature d'action sans obstacle, on sépare cependant par abstraction mentale ce qui est par soi dans la chose de ce qui y est mêlé d'accidents, surtout lorsqu'il en résulte une évaluation en quelque sorte *a priori*[316]. » L'axiome de raison suffisante ne constitue pas une nouveauté dans la

---

[313] « *Omnia enim per se omnino manent qualia sunt, per se, inquam, id est nisi accidat aliunde supervenire rationem mutationis.* », GM, VI, 345.

[314] GP, I, 372.

[315] L'expression « *per se* » utilisée par Leibniz pour décrire l'idée qu'un corps a en lui-même, de par sa nature, la possibilité de continuer dans un mouvement déjà amorcé est déjà présente chez certains auteurs du XVII^e siècle. Jacopo Zabarella dans le *Liber de natura* (1604) écrit : « *In seipsis per se principium motus effectivum* : *elementum autem est corpus naturale* ; *ergo debet in se habere principium motus activum.* », cité par J. E. McGuire dans « Natural motion and Its Causes : Newton on the "Vis Insita" of Bodies », in *Self-Motion from Aristotle to Newton*, ed. par Mary Louise Gill et James G. Lennox, Princeton, Princeton University Press, 1994, p. 319. De même, Johann Magirus écrit dans les *Physiologiae peripateticae libri sex* (1642) : « *Movetur elementum a sua forma per se, tanquam ab agente per emanationem, ab ea namque emanat immediate motus naturalis in ipsomet elemento.* », cité par McGuire dans *ibid*., p. 321.

[316] « *Etsi autem revera nulla actio in natura sit sine obstaculo, abstractione tamen animi separatur quod in re per se est, ab eo quod accidentibus miscetur cum hoc ab illo accipiat aestimationem tanquam a priori* », GP, II, 190.

physique de Leibniz. Nous avons souligné comment, dans les écrits de jeunesse, Leibniz utilisait cet axiome pour justifier la persistance d'un mouvement rectiligne uniforme en l'absence d'une force extérieure. Ce qui est nouveau ici est le renversement opéré par Leibniz, puisqu'il tente de déduire ou de démontrer *a priori* l'existence d'un tel mouvement à partir de l'axiome de raison suffisante. On retrouve d'ailleurs dans les *Éclaircissements des difficultés que Monsieur Bayle a trouvées dans le système nouveau de l'union de l'âme et du corps*, (1698), une autre indication de ce renversement. Leibniz, faisant allusion à « l'axiome suivant lequel une chose demeure toujours dans l'état où elle est une fois, si rien ne survient qui l'oblige de changer », écrit :

> N'est-il pas vrai que de cet axiome nous concluons, non seulement qu'un corps qui est en repos, sera toujours en repos, mais aussi qu'un corps qui est en mouvement gardera toujours ce mouvement ou ce changement, c'est-à-dire la même vitesse et la même direction, si rien ne survient qui l'empêche ? Ainsi une chose ne demeure pas seulement autant qu'il dépend d'elle dans l'état où elle est, mais aussi quand c'est un état de changement, elle continue à changer, suivant toujours une même loi. Or c'est selon moi la nature de la substance créée, de changer continuellement suivant un certain ordre, qui la conduit *spontanément* (s'il est permis de se servir de ce mot) par tous les états qui lui arriveront, de telle sorte que celui qui voit tout, voit dans son état présent tous ses états passés et à venir[317].

Ainsi, dans ce qu'on peut considérer comme une des plus claires et complètes formulations du principe d'inertie qu'ait données Leibniz, ce dernier affirme qu'il découle directement du principe de raison suffisante. En affirmant que cette loi de changement est inscrite dans la nature même de la substance, Leibniz réitère la thèse énoncée dans le *Tentamen anagogicum*, à savoir que la nature obéit à des raisons architectoniques, et qu'à partir de celles-ci il est possible non seulement de justifier *a priori* l'existence de lois de la nature, mais aussi d'en connaître la forme. A la lumière des explications que donne Leibniz dans sa lettre à De Volder citée précédemment, la démonstration de cette proposition 8 peut donc être résumée de la façon suivante : toutes les choses *per se*, c'est-à-dire séparées par

---

[317] GP, IV, 518.

abstraction mentale de tout ce qui les entoure, demeurent dans le même état. Or, le mouvement *per se*, étant caractérisé par un certain changement de position, doit être le plus simple possible ou (*convenir* de telle sorte qu'il ne puisse le faire davantage), et donc ce mouvement doit être uniforme, rectiligne, également distribué et également dirigé. On constate ainsi que l'axiome de raison suffisante est utilisé pour justifier *a priori* la proposition 8 « Tout mouvement *per se* est simplement simple », que l'on peut qualifier de version leibnizienne du principe d'inertie.

Deux commentaires peuvent être exprimés de prime abord concernant le statut qu'accorde Leibniz au principe d'inertie à travers la démonstration qu'il en présente dans ce chapitre consacré au mouvement simplement simple. Le premier est que l'aspect important qui ressort de toute cette démonstration est son caractère d'abstraction. Cette constatation n'a rien d'étonnant, puisque Leibniz, en annonçant au début de la *Dynamica de potentia* qu'il traiterait dans cette première partie de la dynamique simple des choses abstraites, fixait le cadre dans lequel il convient de lire ces diverses propositions. En ce qui concerne la définition du mouvement simplement simple et les propositions qui en décrivent les diverses propriétés, Leibniz utilise, pour les démontrer, les outils de la géométrie, comme ceux de la similitude et de la congruence, et il a même recours à certains théorèmes de la géométrie d'Euclide. De fait, la seule proposition dont la démonstration n'a pas ce caractère géométrique est la huitième. Cependant, cette proposition intègre d'une certaine façon les propositions précédentes et s'appuie sur un principe métaphysique qui exige que l'on fasse appel à un processus d'abstraction pour imaginer un corps qui ne serait soumis à aucune contrainte extérieure. Le deuxième commentaire est que cette proposition 8 n'a pas le statut de première loi de la nature que le principe d'inertie avait dans la physique de Descartes ou de première loi du mouvement ou premier axiome du mouvement qu'il avait dans la physique de Newton, ce qui semble à première vue en atténuer l'importance dans la physique de Leibniz. Or, une étude plus poussée démontre qu'une telle perspective ne correspond pas à la réalité. En effet, si le principe d'inertie est posé dès le début dans la physique de Newton et dans une certaine mesure dans celle de Descartes, il faut reconnaître que la justification du principe lui-même est relativement mince, voire faible dans les deux cas. À l'inverse de ces derniers, Leibniz présente le principe d'inertie dans la proposition ultime d'un corpus géométrique consacré au mouvement et à la vitesse, dont chacune des définitions ou des propositions qui la précèdent constitue un élément essentiel de la démonstration de la nature du mouvement simplement simple d'un objet libre de toute contrainte extérieure. Cette dernière proposition est à la fois l'aboutissement d'une construction géométrique *a priori* et le point de départ ou le fondement sur lequel seront construits les concepts métaphysiques de la section suivante. Nous tenterons de montrer comment ce principe constitue une forme de substrat sur lequel Leibniz construit *a priori* les concepts fondamentaux de sa dynamique et les applique éventuellement aux phénomènes concrets. Par la même occasion, il sera possible d'observer les points de divergence avec la physique de Newton. Ce dernier, après avoir formulé le principe d'inertie dans sa première loi du mouvement, a cherché à déterminer la nature des forces qui viennent modifier ce mouvement ainsi que la façon dont s'effectuent ces modifications. Leibniz, à l'inverse, a tenté de déterminer l'énergie ou la puissance contenue dans un tel mouvement et a tenté de déterminer comment cette puissance pouvait être modifiée lors d'interactions avec d'autres corps.

3.4. Le rôle du principe d'inertie dans les concepts fondamentaux de la dynamique de Leibniz

La démonstration des propriétés géométriques du mouvement libre par soi qu'a présentée Leibniz dans la section précédente ne prend tout son sens que dans la perspective du projet visé dans la *Dynamica de potentia*, soit de construire *a priori* les concepts de la dynamique et de les appliquer par la suite à des phénomènes de la physique concrète. Or, l'objet premier de cette dynamique est le mouvement des corps ainsi que les modifications de celui-ci, qui peuvent survenir lors des collisions ou lorsqu'un corps se déplace sous l'influence de la gravité ou sous la poussée d'un ressort. Dans cette perspective, il n'est pas étonnant de constater que Leibniz a choisi de s'intéresser d'abord au mouvement lui-même, en dehors de toutes les influences extérieures, afin de déterminer la puissance d'un tel corps en mouvement, ou pour l'exprimer autrement son pouvoir d'agir, avant que cette puissance ne soit dissipée ou modifiée par la rencontre d'un autre corps. Une telle entreprise peut être qualifiée d'*a priori* dans la mesure où la détermination de cette puissance est faite avant qu'elle ne soit dissipée de quelque façon. En suivant de près certains éléments de cette construction *a priori*, nous tenterons de montrer que le mouvement libre par soi, qui est l'expression leibnizienne du principe d'inertie, constitue le matériau de base à partir duquel s'effectue ce processus de construction du concept de puissance d'autres concepts qui lui sont reliés.

3.4.1. L'effet formel et l'action formelle

La troisième section de cette première partie de la *Dynamica de potentia* porte sur l'action et la puissance. Dans le chapitre 1^er^ intitulé « De l'action formelle du mouvement et de son effet[318] », Leibniz présente deux concepts fondamentaux de sa dynamique, soit ceux de

---

[318] « *De Actione motus formali ejusque Effectu* » GM, VI, 345.

l'effet formel et de l'action formelle. L'objectif poursuivi par Leibniz dans cette section est d'obtenir par une démonstration *a priori* l'estime de la force en mv^2 et d'obtenir par la même voie une expression pour le pouvoir d'agir d'un corps en mouvement. Considérons d'abord les définitions et l'explication que Leibniz en donne, nous tenterons de montrer que ces concepts sont construits en grande partie sur la base du mouvement par soi simplement simple présenté à la section précédente.

> Définition 2. La quantité d'effet formel dans le mouvement est ce dont la mesure est une certaine quantité de matière en mouvement par une certaine longueur.
>
> Définition 3. La quantité d'action formelle dans le mouvement est ce dont la mesure est une certaine quantité de matière en mouvement par une certaine longueur (le mouvement étant également distribué) durant un certain temps[319].

À la suite de cette définition 3, Leibniz ajoute un commentaire important dans lequel il précise le sens qu'il faut donner au mot « formel » :

> J'ai qualifié de formel tant l'effet que l'action, parce qu'ils sont, suivant la définition que nous en avons donnée ici, essentiels au mouvement. Il en est autrement des autres effets ou des autres actions, naissant d'un obstacle particulier, comme de la force de gravité poussant les corps vers le centre de la terre, ou de la résistance due au milieu ou à un resserrement, ou de l'élasticité d'un corps à surmonter, et d'accidents semblables de la matière concrète. Si l'on supporte mal l'usage d'un terme métaphysique dans un sujet mathématique, que l'on pense que nul autre plus commode ne s'était offert et que la définition une fois assignée, toute ambiguïté en a été retirée[320].

Pour bien saisir le sens de ces concepts, il convient de considérer brièvement certains passages de l'*Essai de dynamique sur les lois du mouvement, ou il est montré qu'il ne se conserve pas la même quantité de mouvement, mais la même force absolue, ou bien la même quantité de l'action motrice.* Dans ce texte, Leibniz tente de démontrer que lors du choc des corps, il y conservation de l'action motrice plutôt que de la quantité de mouvement. Avant de démontrer qu'il y a conservation, Leibniz doit d'abord définir ce

[319] *Ibid.*, p. 345, traduit in Duchesneau [19940, p. 183
[320] GM, VI, 346, traduit in Duchesneau [1994] p. 184.

qu'il entend par action motrice. Or, affirme-t-il, pour estimer cette quantité, il faut en premier lieu estimer l'effet formel du mouvement :

> Cet effet formel ou essentiel au mouvement consiste dans ce qui est changé par le mouvement, c'est-à-dire dans la quantité de la masse qui est transférée, et dans l'espace ou dans la longueur, par laquelle cette matière est transférée. C'est là l'effet essentiel du mouvement, ou ce qui s'y trouve changé : car ce corps était là, maintenant il est ici : le corps est tant et la distance est telle. Je conçois pour plus de facilité que le corps est mû en sorte que chaque point décrit une ligne droite égale et parallèle à celle de tout autre point du même corps. J'entends aussi un mouvement uniforme et continuel[321].

On reconnaît immédiatement dans les deux dernières phrases de cette définition les caractéristiques du mouvement simplement simple exposé dans la *Dynamica de potentia*. Dans cet *Essai de dynamique*, Leibniz poursuit sa description en distinguant l'effet formel, qui est essentiel au mouvement, de l'effet violent :

> Car l'effet violent consume la force et s'exerce sur quelque chose de dehors; mais l'effet formel consiste dans le corps en mouvement, pris en lui-même, et ne consume point la force, et même il la conserve plutôt, puisque la même translation de la même masse se doit toujours continuer, si rien de dehors ne l'empêche : c'est pour cette raison que les forces absolues sont comme les effets violents qui les consument, mais nullement comme les effets formels[322].

Cette distinction entre effet formel et effet violent traduit les deux approches privilégiées par Leibniz dans ses travaux en vue de déterminer la véritable estime de la force, soit l'approche *a priori* et l'approche *a posteriori*. C'est ce que précise Leibniz dans le *Specimen dynamicum* où il qualifie l'effet formel d'inoffensif *(innocuus)*, parce que, à l'opposé de l'effet violent dans lequel la force se consume, la force y est conservée :

> Plus tard, j'arrivai à la véritable estimation des forces, et de plus à exactement la même en utilisant diverses façons : l'une *a priori*, est basée sur la plus simple considération de l'espace, du temps et des actions (laquelle méthode j'exposerai ailleurs), l'autre *a posteriori*, dans laquelle on estime la force par l'effet qu'elle produit en se consumant. Par effet dans ce dernier cas, je ne veux pas dire n'importe quel effet, mais celui dans lequel la force doit être dépensée ou consumée, et que pour cette raison on peut appeler violent. Cet effet n'est pas le même que celui

---

[321] GM, VI, 220-221.
[322] *Ibid.*, p. 221.

> qu'exerce un corps grave en se déplaçant suivant un plan parfaitement horizontal, puisqu'il retient toujours la force de quelque manière qu'il se prolonge, et quoique ce même effet que l'on peut pour ainsi dire qualifier à juste titre d'inoffensif peut être estimé par notre raison, nous ne le considérerons pas maintenant[323].

Leibniz reviendra en plusieurs autres circonstances sur l'opposition entre les deux sortes d'effets et il utilisera d'autres qualificatifs significatifs pour décrire l'effet formel. Ainsi, dans une lettre à Jacques Bernouilli d'avril 1703, il parle des effets formels comme des « effets abstraits et mathématiques[324] ». De même dans la lettre à Hermann du 9 septembre 1712, Leibniz oppose l'effet violent à « l'effet pur qui produit une puissance durable, à l'exemple d'un corps que l'on imagine se déplacer d'une certaine longueur sur un plan horizontal[325] ». À la suite de ces commentaires que fait Leibniz à propos de l'effet formel, Fichant ajoute que cet effet est « le transport d'un corps sur une distance donnée avec une vitesse constante, sans la rencontre d'aucune résistance ni d'obstacle à surmonter[326] ». En d'autres mots, l'effet formel est une conception abstraite construite sur la base du mouvement par soi simplement simple. Par ailleurs, il ne faut pas perdre de vue que l'objectif de Leibniz est de développer d'une façon *a priori* des outils qui puissent être utilisés dans la description des phénomènes de la nature. Dans cette démarche, Leibniz propose dans ce chapitre un deuxième concept important, soit celui de l'action formelle.

La mesure de l'effet formel, nous l'avons vu, ne fait pas intervenir le temps ou la vitesse du corps en mouvement lorsqu'il se déplace d'une certaine distance. C'est en partie pour pallier cette lacune que Leibniz a sans doute présenté ce concept d'action formelle qui

---

323 GM, VI, 243.
324 GM, III, 70.
325 GM, III, 379.
326 Michel Fichant, *Science et métaphysique dans Descartes et Leibniz,* Paris, Presses universitaires de France, 1998, p. 218.

jouera un rôle important dans l'estimation *a priori* de la force. Exprimés sous une forme simple, les deux concepts peuvent être résumés de la façon suivante :

Effet formel = masse du corps x longueur du chemin parcouru

Action formelle = Effet formel x vitesse du corps

Le concept d'action, qui n'apparaissait pas dans le *Phoranomus*, marque une étape importante dans la construction de la dynamique de Leibniz et a été l'objet de plusieurs études de la part des commentateurs. Mentionnons en particulier le texte de Michel Fichant, « De la puissance à l'action : la singularité stylistique de la dynamique[327] ». Fichant tente de cerner la signification et le rôle de cette notion dans la dynamique de Leibniz en tenant compte des points de vue d'autres commentateurs dont Robinet, Gueroult et Ranea. D'une part, Fichant soutient que le concept d'action, d'origine métaphysique, est un élément qui joue un rôle important dans la dynamique leibnizienne, puisqu'il contribue à la rendre effective, mais il reconnaît, d'autre part, que ce concept soulève un problème intéressant. Le concept d'action qui devrait être un concept fondamental de la dynamique est lui-même construit à partir du concept d'effet formel qui, « du point de vue de ce qui s'appelle dynamique dans l'usage commun de la science classique, ne peut justement pas être qualifié d'effet dynamique : le mouvement rectiligne uniforme d'un corps soustrait à toute rencontre d'un obstacle ou d'une résistance[328] ». Un tel état de mouvement ne paraît

[327] *Ibid.*, p 205-243.

[328] *Ibid.*, p. 231. L'objection formulée ici par Fichant est à toute fin pratique la même que celle formulée par Denis Papin dans sa lettre à Leibniz du 5 novembre 1696 : « Pour ce qui est de vostre question touchant l'action des corps qui ne rencontrent point de resistence il faut que Je Vous avoue, Monsieur, que Je ne puis entrer dans vostre sentiment, et que Je tiens cet axiome pour incontestable *omne agens agendo repatitur* supposant donc qu'un corps se meut sans rencontrer rien sur quoy agir et de qui il puisse aussi recevoir de l'alteration, Je dis qu'un tel corps n'agit point mais qu'il persiste seulement dans l'estat ou il est. », LBr 714, ff. 93r-v., cité Alberto Guillermo Ranea, dans « The *a priori* Method and the *actio* Concept Revised, *Studia Leibnitiana*, Band XXI/1 (1989), p. 62 n97. Dans sa réponse, Leibniz affirme que l'axiome n'est point contredit, mais qu'il est même confirmé par son concept d'action « on peut pourtant encor l'appliquer à un agent dans le quel il n'y a qu'un changement de lieu. Car comme en cela il n'agit que sur soy meme c'est aussi luy meme qui souffre. », Lettre de Leibniz à Papin, 9 novembre 1696, LBr 714, f. 91r, cité par A. G. Ranea dans *ibid.*, p. 63.

requérir aucune force et donc ne saurait lui-même être porteur d'une action dynamique. Le problème soulevé par Fichant met en lumière la complexité du projet leibnizien de déterminer *a priori* une expression pour la mesure de la force. Deux commentaires peuvent être faits à la suite du problème formulé par Fichant. En premier lieu, il faut admettre que même si le mouvement rectiligne uniforme est le type de mouvement privilégié auquel pense Leibniz à propos de l'effet formel, il n'en est pas le seul exemple et il n'est pas nécessaire non plus que l'effet formel soit décrit par ce mouvement. Il est possible de citer deux passages de Leibniz à l'appui de cette affirmation. Le premier est tiré de l'*Essai de dynamique* où Leibniz en parlant de l'effet formel écrit : « *Je conçois pour plus de facilité* que le corps est mû en sorte que chaque point décrit une ligne droite égale et parallèle à celle de tout autre point du même corps. J'entends aussi un mouvement uniforme et continuel[329]. » Le second est tiré de la *Dynamica de potentia* où Leibniz, après avoir donné une explication concernant l'effet et l'action formels, ajoute une mise en garde : « Les propositions suivantes à propos de l'action et de la puissance sont comprises des mouvements simples ou tout au moins des mouvements à la fois uniformes et également distribués[330]. » De fait, on constate que la seule propriété du mouvement à laquelle fait appel Leibniz pour démontrer les diverses propositions qu'il présente dans ce chapitre est la constance de la vitesse. Cette constatation ne répond pas à la question soulevée par Fichant, mais permet d'orienter la réflexion dans une autre direction. Le projet de Leibniz dans ces chapitres de la *Dynamica de potentia* étant essentiellement de déterminer une mesure du pouvoir d'agir ou de la puissance d'un corps en mouvement, il était nécessaire d'inclure au départ les seuls paramètres inhérents au corps en mouvement comme le sont la masse, la

---

[329] GM, VI, 220-221.

[330] « *Cautio. Sequentes Propositiones circa actionem et potentiam de motibus simplicibus vel saltem de motibus aequidistributis simul et uniformibus intelliguntur.* », GM, VI, 346.

vitesse et le déplacement. Dans ce contexte, les concepts d'effet formel et d'action formelle constituent des inventions dont le mérite ou la valeur se mesure aux résultats auxquels aboutira Leibniz et à la façon dont ils seront appliqués aux phénomènes. C'est un peu la façon dont Duchesneau envisage l'introduction de la notion d'action formelle dans la *Dynamica de potentia.* L'action formelle en intégrant l'effet moteur formel et la vitesse permettrait d'exprimer adéquatement le pouvoir d'agir *a priori* puisque, toute résistance extérieure étant enlevée, la vitesse du corps est constante et ainsi la propension d'agir qui se mesure en partie à partir de celle-ci « se conserve intégralement à travers l'effet moteur, de telle sorte qu'on pourrait l'ajouter à cet effet comme un gain permanent en termes de translation virtuelle[331] ». Les propositions qui suivent ces définitions de l'effet formel et de l'action formelle viennent les expliciter en considérant comme constant un élément de la définition et en montrant à partir de celle-ci comment les autres quantités varient entre elles. Ainsi la proposition 1 : « Si les mêmes quantités de matière sont mues suivant différentes longueurs, les effets formels des mouvements sont comme les longueurs. Et puisque les degrés de vitesse sont égaux, alors les actions formelles des mouvements sont comme les longueurs[332]. » Dans les faits, ces propositions ont pour objectif de préparer la démonstration qui porte sur la variation de l'action en fonction de la vitesse et de la masse du corps en mouvement.

Cette démonstration qui apparaît en plusieurs endroits dans les textes de Leibniz est présentée dans le scolie de la proposition 20 du chapitre « De l'action formelle du mouvement et de son effet ». Elle est aussi présentée de façon différente au début de la

[331] Duchesneau (1994) p. 186, voir aussi Duchesneau (1998) p. 100-107.
[332] GM, VI, 346.

Dynamica de potentia, dans les notions préliminaires. C'est cette version que nous reproduisons ci-dessous parce qu'elle est construite à partir du mouvement libre par soi.

Démonstration quatrième

tirée des raisons des mouvements, abstraites des choses sensibles

> L'action accomplissant le double en un temps simple est le double de l'action accomplissant le double en un temps double; l'action accomplissant le double en un temps double est le double de l'action accomplissant le simple en un temps simple. D'où l'action accomplissant le double en un temps simple est le quadruple de l'action accomplissant le simple dans un temps simple ou dans le même temps[333].
>
> Mais il vaut la peine d'exposer la chose un peu plus en détail. Soit l'action de parcourir un espace simple en un temps simple, soit M l'action de parcourir un espace double en un temps double, et finalement, soit N l'action de parcourir un espace double en un temps simple. *De plus, celles-ci sont comprises du mouvement le plus libre (liberrimo), lequel est un mouvement uniforme, horizontal dans un milieu n'offrant pas de résistance.* De plus, on considère que le corps en mouvement est le même ou que les masses sont égales. Maintenant, N est le double de M (le fait de parcourir deux lieues en une heure est double de celui de parcourir deux lieues en deux heures), et M est le double de L (le fait de traverser deux lieues en deux heures est le double de celui de parcourir une lieue en une heure, en effet si deux lieues sont parcourues en deux heures, cela correspond à deux fois l'action de parcourir une lieue en une heure). Donc N est le quadruple de L (le fait de parcourir deux lieues en une heure est quatre fois le fait de traverser une lieue en une heure). Donc, si la vitesse est doublée pour un même temps, l'action est quadruplée, de même si la vitesse est triplée, l'action est multipliée par neuf[334].

En utilisant ce syllogisme, Leibniz démontre un des résultats les plus importants de sa dynamique, à savoir que l'action est proportionnelle au carré de la vitesse. L'auteur ajoute que cette démonstration lui semble être la première en dignité puisqu'elle a été obtenue *a priori*, à partir des seules notions de l'espace et du temps, sans faire intervenir l'hypothèse de la gravité ou d'autres hypothèses ajoutées *a posteriori*. Le résultat obtenu corrobore certaines des propositions de Galilée sans cependant faire intervenir l'hypothèse que ce dernier avait utilisée pour y arriver, à savoir que dans un mouvement uniformément accéléré la vitesse augmente avec le temps, ce qui constitue aux yeux de Leibniz un exploit

---

[333] GM, VI, 291.
[334] GM, VI, 291-292.

remarquable et de la plus grande importance pour la science du mouvement. Ce syllogisme a été l'objet de plusieurs critiques de la part des correspondants de Leibniz dont De Volder, Johann Bernouilli, Papin et a été étudié par plusieurs commentateurs dans les années récentes[335]. Cette démonstration offre la possibilité d'observer attentivement le statut que Leibniz accorde au mouvement inertial, qu'il qualifie ici de mouvement le plus libre (*liberrimo*). Ailleurs dans la *Dynamica de potentia,* le mouvement sera appelé mouvement libre ou encore mouvement libre par soi. À la lumière des définitions et des démonstrations précédentes, on doit admettre que le mouvement le plus libre est une abstraction au sens où Leibniz considère le mouvement d'une chose sensible et en abstrait par la pensée toutes les contingences extérieures pour ne garder que son caractère essentiel qui est d'être uniforme et rectiligne. D'ailleurs, Leibniz ne dit-il pas lui-même au début de sa démonstration qu'elle est tirée des raisons des mouvements, abstraites de la matière sensible. Cette façon de procéder est nécessaire s'il est souhaitable que les résultats obtenus *a priori* par un processus purement rationnel puissent être applicables éventuellement dans l'ordre des phénomènes. Cette démonstration, aussi importante soit-elle, ne constitue qu'une étape vers une autre encore plus importante, soit celle de la puissance motrice absolue du chapitre suivant.

3.4.2. La puissance motrice absolue

Ce chapitre II de la section trois de la première partie de la *Dynamica de potentia* intitulé « *De potentia motrice absoluta demonstrata a priori* » débute par une définition :

> Définition. La puissance absolue de ce qui est mû est sa disposition, proportionnelle à la quantité d'action provenant de l'état par soi de ce qui a un mouvement et se poursuivant pendant un certain temps, ou bien proportionnelle à la quantité d'action formelle, qu'exercerait le mobile, s'il poursuivait son mouvement pendant un temps de grandeur donnée. C'est pourquoi les temps de l'action étant égaux et les actions

[335]Voir Martial Gueroult [1967] chapitre V La dynamique (fin) : la méthode *a priori*, p 110-154.

> formelles étant posées uniformes, les puissances motrices absolues sont comme les actions formelles[336].

Dans l'explication qu'il fournit à la suite ce cette définition, Leibniz précise, en se référant à la proposition 7 qu'il démontre un peu plus loin, que la puissance motrice absolue est obtenue à partir du rapport de l'action formelle sur le temps considéré. Cette puissance est équivalente à ce qui était appelé alors la force vive (*vis viva*) ou à ce qui est maintenant nommé l'énergie cinétique d'un corps en mouvement. Compte-tenu de l'importance de ce concept, il convient de relever trois extraits de l'explication présentée par Leibniz qui complètent bien la définition qu'il a donnée. En premier lieu, Leibniz affirme qu'il estime les puissances absolues des mouvements par les quantités des actions qui découlent par soi de leur état d'agents[337]. Il est important d'observer qu'en définissant de la manière qu'il le fait ce nouveau concept qu'est la puissance motrice, Leibniz reconnaît aux corps en mouvement une puissance d'agir et leur confère conséquemment un statut d'agents équivalent à celui qu'il accordera plus loin dans ce même texte aux corps soumis à la gravité ou à une tension élastique. Il suffit de considérer le début de la seconde partie de la *Dynamica de potentia*, consacrée à la dynamique concrète, où à la suite de la toute première définition, Leibniz écrit : « Ainsi, un corps grave suspendu ou un élastique tendu sont des corps qui ont une puissance d'agir, puisqu'ils agissent vraiment ou produisent un changement [...] [338] ». Dans cette perspective, il était nécessaire que cette puissance d'agir soit définie de façon telle qu'elle échappe aux apories soulevées par les définitions de l'effet formel et de l'action formelle. En effet, ces quantités étant purement relatives puisqu'elles dépendent de la longueur du chemin parcouru par le corps et par le fait même

---

[336] GM, VI, 359.
[337] « *potentias absolutas motuum aestimo quantitatibus actionum, quae per se ex agentium statu consequuntur.* », *Ibid.*, p. 359.
[338] « *Ita grave ustentatum, vel elasticum tensum corpora sunt, quae habent agendi potentiam, quoniam revera agent seu mutationem producent* [...] », *Ibid.*, p. 435.

du temps requis à la parcourir, ne sauraient être considérées comme des caractéristiques d'un mouvement en particulier. Leibniz souligne cette différence fondamentale entre la puissance et les deux autres concepts dans ce deuxième extrait tiré de son explication de la définition de la puissance motrice absolue : « Et ce qui est instantané dans la puissance (en effet les choses qui sont mues, ont une puissance à n'importe quel instant), est successif ou continu dans l'action par soi découlant de l'état de puissance ou de l'état instantané[339]. » La puissance, on le constate, a priorité sur l'action, puisque celle-ci a besoin de la première pour exister comme une action a besoin d'un agent qui en soit la source et puisque de plus, elle requiert une succession d'instants pour son déroulement. Que l'action soit continue par opposition à la puissance qui est instantanée découle tout simplement, comme le rappelle Leibniz, de la relation entre les deux, à savoir que les actions sont obtenues par le produit des temps et des puissances. Ainsi, la puissance a une valeur dans l'instant qui est la même qu'à tous les autres instants — du moins pour le mouvement libre considéré ici — , contrairement à l'effet formel et à l'action formelle qui sont des quantités variables puisqu'elles dépendent du trajet parcouru et de l'intervalle de temps. En ce sens, elle est une propriété essentielle du mouvement, une constante qui est indépendante des interactions de ce corps avec d'autres corps. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle elle est qualifiée d'absolue comme le précise l'auteur de la *Dynamica de potentia* dans un dernier commentaire : « Je fais la distinction entre la puissance absolue d'un mobile considérée dans un corps par soi et la puissance respective (*respectiva)*, par laquelle un corps qui en

---

[339] « *Et quod in potentia momentaneum est (quae enim moventur, quovis momentaneo habent potentiam), id in actione per se consequente ex statu potentiae eu ex statu momentaneo est successivum seu continuatum* », GM, VI, 360. Un peu plus loin dans le chapitre, à la fin de la proposition 4, Leibniz reprendra les mêmes propos : « *Nempe in potentia momentaneum est, quod in actione succedente per tempus uniformiter est diffusum.* », GM, VI, 364.

frappe un autre le déloge de son lieu[340]. » Cette distinction jouera un rôle important dans la description qu'il fera du choc des corps dans le dernier chapitre de la *Dynamica de potentia*. Dans les propositions qu'il présente par la suite, Leibniz explique comment varie la puissance lorsque l'on fait varier soit la masse, soit la vitesse, soit la longueur du chemin parcouru par le corps en mouvement. Le résultat le plus important est celui où il expose la relation explicite de la puissance comme étant égale au produit de la masse par le carré de la vitesse, puisqu'il se distingue en cela des cartésiens pour qui l'estime de la force était obtenue par le produit de la masse et de la vitesse. À la fin du chapitre, Leibniz annonce déjà sans le justifier de façon formelle le principe de la conservation de la puissance : « À partir d'ici comme nous l'exposerons plus loin, la même quantité de puissance est conservée dans le monde, cela est une conséquence du fait que les quantités d'actions exercées dans l'univers (ou aussi dans une machine qui ne communique pas avec d'autres) varient comme les temps, c'est pourquoi dans des temps égaux, la quantité des actions exercées dans l'univers est égale[341]. » Leibniz termine par deux rappels cette troisième section où sont présentés les concepts de l'action et de la puissance. Dans le premier rappel, il mentionne qu'il a considéré des corps en translation dans le milieu le plus libre et exempt de gravité, de telle sorte qu'ils se déplacent sur un plan horizontal. Rappelant les démonstrations obtenues pour les puissances, il affirme qu'elle sont confirmées *a posteriori*. Dans le deuxième rappel, il soutient que toutes les propositions précédentes ont été conçues pour des mouvements uniformes et également distribués, mais que cependant elles peuvent s'accommoder d'autres mouvements. Le contenu de ces rappels permet

---

340 « *Distinguo autem potentiam mobilis absolutam, in corpore per se consideratam, a respectiva, qua aliud percutit, de qua suo loco.* », GM, VI, 360.
341 « *Hinc quoniam infra ostendemus, eandem in mundo servari quantitatem potentiae, consequens est actionum in Universo (vel etiam in Machina quacunque cum aliis non communicante) exercitarum quantitates esse ut tempora, adeoque aequalibus temporibus aequalem esse actionum in Universo exercitarum quantitatem.* », GM, VI, 366.

d'observer qu'il accorde une fonction heuristique au mouvement le plus libre en le considérant comme le mouvement privilégié à partir duquel il construit les concepts importants de sa dynamique. Par ailleurs, il est aussi possible de constater que ce mouvement n'est pas un élément essentiel pour justifier l'existence de ces concepts, ni même requis pour les démonstrations qu'il en présente. Le principe d'inertie, dans ce contexte, peut être perçu comme un outil ou une abstraction utile pour simplifier la description du mouvement d'où émerge le concept de puissance motrice absolue. Celle-ci cependant doit s'appliquer à toutes les sortes de mouvement, comme le mentionne Leibniz, puisqu'elle doit avoir un caractère universel comme concept clé de la dynamique. Les démonstrations *a priori* de l'action et de la puissance à travers lesquelles il a été possible d'identifier tout au moins une certaine utilisation du mouvement libre par soi ne constituent qu'une étape préliminaire du projet de Leibniz. Il est nécessaire pour mesurer la véritable portée de ce projet d'observer comment il utilise ces concepts dans l'ordre des phénomènes concrets.

3.5. Les concepts fondamentaux de la dynamique concrète

La deuxième partie de la *Dynamica de potentia* comprend quatre sections : « *Sect. I. De causa et effectu, seu de vi absoluta mortua et viva. Sect. II. De centro gravitatis et directione motus seu de vi directiva. Sect. III. De concursu corporum, seu de vi respectiva cum absolutae ac directivae considerationibus combinata*[342] » Dans la première, Leibniz développe les outils conceptuels requis pour décrire les mouvements concrets qui se produisent lorsqu'un corps retenu par une ficelle est laissé à lui-même et qu'il se déplace sous l'influence de la gravité ou lorsqu'un corps est poussé par un ressort qui était au départ

[342] Gm, VI, 286.

comprimé. Parmi ces outils, le plus important est certainement le principe de la conservation de la puissance, qui est probablement la première formulation de ce qui est aujourd'hui le principe de la conservation de l'énergie mécanique. Dans les autres sections, Leibniz se penche sur certains phénomènes concrets auxquels il applique les outils développés précédemment : le mouvement en présence de la gravité et le choc des corps[343]. Nous considérerons, dans un premier temps, les éléments les plus importants de la première section et, par la suite, nous étudierons l'application que Leibniz en fait dans l'étude du choc des corps, en portant une attention particulière à la façon dont il intègre le mouvement libre par soi dans son étude. Dans la première section, Leibniz introduit une nouvelle notion, soit celle de *Thema* (ou état des choses). Celui-ci est dit actif ou doté de puissance s'il suit de cet état un changement physique, l'état antérieur étant identifié à la cause, alors que l'état postérieur est identifié à l'effet. Le titre de cette première section, *De causa et effectu activis*, n'est pas sans rappeler celui du chapitre I, section 3, partie I qui portait sur l'action et l'effet formels. D'ailleurs, Leibniz établit un intéressant parallèle entre les sortes d'effets :

> Cependant il vaut la peine de considérer ce que nous avons dit antérieurement de l'effet formel du mouvement. Celui-ci décrivait le fait qu'une quantité de matière était déplacée sur une longueur de chemin parcouru, ou qu'une quantité de changement naissait du seul mouvement le plus libre (*liberrimo*) du corps; en vérité, par effet actif ou absolu, nous entendons un certain *thema* produit dans la matière, qui a une certaine force d'agir, comme un corps grave agit, lorsqu'il est élevé au-dessus de l'horizon d'un certain nombre de pieds et qu'il retombe lorsqu'on enlève l'obstacle qui le retient; ainsi en est-il aussi de l'arc tendu[344].

La comparaison établie par Leibniz permet de voir une partie de la structure qui est à la base de la construction de la *Dynamica de potentia.* D'une part, Leibniz démontre *a priori* qu'un corps en mouvement possède un pouvoir d'agir, une puissance motrice absolue qui

---

[343] Une quatrième section annoncée dans la table des matières et qui porte sur l'application des forces aux machines n'est pas présentée dans la *Dynamica de potentia.*
[344] GM, VI, 436.

en dernière analyse peut être évaluée par le produit mv^2; d'autre part, il affirme qu'un corps suspendu à une certaine hauteur possède lui aussi un pouvoir d'agir, une puissance qui se traduira par le mouvement du corps lorsque le fil qui le retient aura été enlevé et par le fait que ce corps en chute libre atteindra le sol avec une certaine vitesse v. Dans ce cas, il est possible d'affirmer que l'état initial du *thema* constitue la cause pleine, alors que l'état final de l'autre *thema,* au moment où le corps atteint le sol avec la vitesse v, constitue l'effet entier. L'utilisation dans ce contexte des qualificatifs « entier » et « pleine » suggère l'idée d'une équivalence entre les deux états dans laquelle le pouvoir d'agir est conservé. Or, c'est précisément dans cette direction que s'oriente Leibniz, puisque à la définition 3, il présente l'axiome important qu'il avait trouvé lors de ses réflexions sur le choc des corps, en 1678 :

> Axiome et Définition 3. L'effet entier équivaut à la cause pleine, c'est pourquoi il n'y a pas de mouvement mécanique perpétuel, ou la cause ne peut pas produire un effet actif, qui possède plus que la cause elle-même, et l'effet entier ne peut non plus posséder moins que la cause elle-même[345].

Ce que présente Leibniz dans ces concepts de *themas* dotés de puissance est manifestement la première formulation de ce qui sera appelé plus tard, dans le formalisme de la physique classique, l'énergie potentielle, qu'elle soit de nature gravitationnelle ou élastique. De plus, en émettant l'idée que la puissance d'un *thema* est réintégrée dans la puissance d'un autre *thema* lors d'un changement, Leibniz formule le principe de la conservation de la puissance pour un corps en mouvement. Il est même possible d'affirmer que ce principe a une forme tout à fait générale et qu'il ne s'applique pas exclusivement à un monde idéalisé où serait absent le frottement ou tout autre obstacle. En effet, Leibniz ajoute à la suite de cette définition 3 que « si une partie de la puissance est absorbée par un obstacle, elle n'est pas

---

[345] « *Axioma et Definitio 3. Effectus integer aequivalet causae plenae, adeoque non datur Motus perpetuus Mechanicus, sive Causa non potest producere Effectum Activum, qui plus possit, quam ipsa causa, sed nec Effectum integrum, qui minus possit, quam ipsa causa.* », GM, VI, 437.

détruite, mais elle est transférée à cet obstacle, et doit être calculée dans l'effet entier[346] ». D'ailleurs, le dernier commentaire qu'ajoute Leibniz après avoir présenté cet axiome laisse voir le rôle prédominant qu'il lui accorde ainsi que l'orientation que cet axiome donne à toute sa dynamique : « Que l'effet entier équivaut à la cause pleine, cette proposition relève d'une métaphysique davantage sublime qui ne se dépense pas en simples mots mais traite de ce qu'il y a d'universel dans les choses. La nature observe cette loi avec la plus grande constance, et la vérité peut en être inférée de ce que, si on la supprime, il ne reste aucun moyen d'estimer les puissances ni de statuer sur la grandeur des effets à partir des causes[347]. » Non seulement Leibniz rappelle-t-il l'origine métaphysique de cet axiome, mais il exprime la conviction qu'il représente ce qu'il y a d'universel dans les choses de la nature. C'est cette même conviction qu'il exprimera plus tard, dans le *Tentamen anagogicum*, alors qu'il affirmera que la nature est gouvernée architectoniquement et qu'on ne saurait dériver les lois du mouvement qu'en supposant des raisons architectoniques. Dans les faits, c'est exactement ce programme que réalise Leibniz dans ce chapitre de la *Dynamica de potentia*, où le principe de conservation de la puissance est dérivé ou devient une instantiation de l'axiome de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier. Chez Leibniz, on le constate, ce principe acquiert au même titre que l'axiome dont il dérive le rôle d'une loi de la nature, on pourrait même ajouter de première loi de la nature, sans cependant qu'il en ait le statut. Cette façon de procéder de Leibniz est à l'opposé de celles de Newton et de Descartes pour qui le principe d'inertie jouait le rôle de première loi. De plus, afin d'assurer le caractère prépondérant et universel de ce principe de la conservation

---

[346] « *Etsi enim pars potentiae ab impedimentis absorbeatur, non destructa tamen, sed in impedimenta translata est, quae in effectum integrum computantur.* », GM, VI, 437.
[347] GM, VI, 437, trad. Duchesneau [1994] p. 196.

de la puissance, Leibniz, après l'avoir introduit dans le cadre du mouvement d'un seul corps, en généralise l'application au cas d'un ensemble de corps et même à l'univers entier.

Ainsi, à la proposition 7 de ce même chapitre 1 (section 1, partie II), Leibniz affirme l'invariance de la puissance pour un système isolé de corps : « Proposition 7. Il y a toujours la même puissance dans un système de corps qui ne communiquent pas avec d'autres[348]. » Dans la démonstration qu'il en donne, Leibniz déduit cette proposition de l'axiome de l'équivalence causale : « En effet, si les corps ne communiquent pas avec d'autres, l'état postérieur de n'importe quel de ces corps sera l'effet entier de leur état antérieur, et ainsi la puissance est égale. C'est pourquoi il y a toujours la même quantité de puissance. Donc, si le corps est unique, il retient toujours la même puissance, s'il y en a plusieurs qui s'entrechoquent entre eux, il y aura toujours la même puissance dans la somme de tous ces corps[349]. » Cette proposition est immédiatement suivie d'une autre, la proposition 8, dans laquelle l'univers est considéré comme un système isolé auquel s'applique donc le principe de la conservation de la puissance : « Il y a toujours la même puissance dans l'univers[350]. » Leibniz suppose que tous les corps de l'univers ne peuvent communiquer avec d'autres qui n'y seraient pas contenus et que par conséquent il s'y conserve toujours la même puissance. Déjà, dans la première partie de la *Dynamica de potentia* Leibniz annonçait la conservation de la puissance pour un système isolé qu'il qualifiait alors de machine[351]. Cette idée apparaissait d'ailleurs dans les écrits des années 1676-1678 avec une justification sans

[348] « *Propositio 7. Eadem est semper potentia in quovis Systemate corporum cum aliis non communicantium.* », GM, VI, 440.
[349] « *Cum enim corpora cum aliis non communicent (ex. hyp.) status quilibet corporum posterior erit effectus integer status eorum prioris (per def.2), et proinde (per axioma et prop. 6) potentia aequalis. Itaque eadem est semper potentiae quantitas. Hinc sive corpus unum sit, semper eandem retinebit potentiam, sive plura inter se concurrentia, semper eadem erit potentia in omnium summa* », GM, VI, 440.
[350] « *Propositio 8. Eadem semper potentia est in Universo.* », GM, VI, 440.
[351] GM, VI, 366.

doute moins rigoureuse, mais qui laissait nettement présager l'orientation qu'elle prendrait éventuellement. Ainsi dans un feuillet daté de mars 1677, Leibniz décrit en ces termes ce qu'il appelle la « proposition fondamentale de toute la science de la mécanique » : « Étant donné un nombre quelconque de corps, ne subissant aucune action d'autres corps extérieurs à eux, la puissance et la direction de tout l'agrégat restent toujours les mêmes[352]. » De même, dans la *Scheda septima* du *De concursu corporum*, datée de janvier 1678, Leibniz affirme la nécessité de considérer les interactions entre les corps sous un nouvel éclairage :

> L'effet entier est assimilé à la cause pleine, autant que faire se peut. Car l'effet entier est seulement un certain changement de la cause pleine, et en fait le moindre qui puisse se produire [...] D'où : L'effet entier est équipollent à la cause pleine ou a la même puissance. C'est un corollaire de la proposition précédente, parce qu'il ne peut y avoir nulle nécessité de changer la puissance, même s'il y nécessité de changer de situation [...]
> La quantité des forces demeure toujours la même dans une même Machine ou dans l'agrégat d'un nombre quelconque de corps disposés en action ou passion réciproques. Car tout corps externe est exclu ou du moins n'est pas pris en considération.
> Il y a toujours la même quantité de forces dans le Monde, parce que le Monde tout entier est une unique Machine[353].

Il est possible de reconnaître dans ce passage un embryon du chapitre que Leibniz consacre à la conservation de la puissance dans la *Dynamica de potentia.* Dans les deux cas, la conservation de la puissance à travers le changement de situation d'un corps découle directement du principe de l'équipollence de la cause pleine et de l'effet entier. Par la suite, Leibniz généralise cette conservation au cas d'un agrégat de corps et enfin à l'univers, considéré comme un tel agrégat. À propos de ce dernier point, Fichant souligne qu'il est « intéressant de relever comment le principe d'équipollence donne à Leibniz le schéma abstrait d'une machine en général, extensible à l'univers[354] ». Cette idée revient d'ailleurs dans le *Principium mechanicae universae novum*, (1680-1688), où Leibniz présente comme

[352] LH XXXVII, 5, f° 162 r°, trans. par Fichant [1994] p. 352.
[353] LH XXXV 9, 23, f° 21, trans. par Fichant [1994], p. 292-293
[354] M. Fichant [1994], p. 289.

premier corollaire du principe d'équipollence l'énoncé suivant : « Dans toute Machine entière, ou dans un agrégat total de corps subissant quelque action, la puissance avant et après l'action reste la même [...] Et puisque tout l'univers est une machine entière absolument parfaite, car aucun corps ne peut être admis en dehors de lui qui absorberait une partie de l'élan (*impetus*), la conséquence en est que la même puissance ou force perdure toujours dans le monde[355]. » On retrouve dans la dernière phrase de ce dernier passage le même argument qu'il utilise dans la proposition 8 (section 1, partie II) pour associer l'univers à un système isolé de corps, à savoir que les corps de l'univers ne peuvent communiquer et échanger leur puissance avec d'autres corps qui n'y sont point contenus. Il est possible de constater que ces différents extraits contiennent en germe l'idée dominante de cette première section de la deuxième partie de la *Dynamica de potentia* qui représente par le fait même le fondement de la dynamique leibnizienne, soit la conservation de la force ou de la puissance au sens où l'entend Leibniz. Cette section, contrairement aux textes de la période de transition, constitue un exposé systématique et cohérent de tous les aspects qui concernent la mesure de la puissance d'un corps en mouvement et la transformation de cette puissance en différentes circonstances, comme lorsque le corps s'élève d'une certaine hauteur au-dessus de l'horizon. De plus, Leibniz y décrit les différents concepts utiles à la compréhension des phénomènes de la mécanique tels celui de *conatus centrifugus* utilisé pour expliquer le mouvement circulaire, celui de *vis mortua* utilisé pour décrire la force de la gravité ou celle d'un ressort étiré, celui de *vis viva* utilisé pour décrire la force d'un corps en mouvement. Une étude exhaustive des quarante-deux propositions que comprend cette section serait certes intéressante, mais elle nous entraînerait quelque peu hors de notre propos. Les propositions que nous avons mises en relief dans cette section seront utiles

---

[355] LH XXXV, 10, 5, f° 4 r°, trans. Par Fichant [1994] p. 289-290.

lorsque nous considérerons le choc des corps au prochain chapitre. D'une part, Leibniz développera un modèle du choc des corps construit en supposant la présence d'un ressort à l'intérieur de ceux-ci de telle sorte que la puissance emmagasinée dans ce ressort au moment du choc sera rendue à ces corps sous forme de *vis viva* après le choc en vertu du principe de la conservation de la puissance présenté dans cette section. D'autre part, Leibniz présentera, dans cette même section consacrée au choc des corps, le mouvement d'un agrégat de corps qui ont des interactions les uns avec les autres. Or, en vertu de la proposition 7 que nous avons vue dans la présente section, un tel système peut être considéré comme un système isolé de corps dans lequel il y a conservation de la puissance totale.

4. Conclusion

Au début de ce chapitre, nous avons pu constater, à partir des premiers écrits que Leibniz a consacrés à la philosophie de la nature, qu'il a intégré le principe d'inertie dans sa physique dès les débuts de sa réflexion. En observant, attentivement certains extraits de ses premiers écrits, il a été possible d'observer l'influence de Hobbes et celle de Descartes. En affirmant qu'un corps demeure au repos ou en mouvement rectiligne uniforme lorsqu'il n'y a pas de raison suffisante pour qu'il en soit autrement, Leibniz emprunte dans une large mesure l'argumentation que Hobbes utilisait pour démontrer des propositions de même nature. L'influence de Descartes est manifeste elle aussi. Leibniz reprend dans plusieurs de ses formulations du principe d'inertie l'expression cartésienne « *quantum in se est* ». Celle-ci suggère l'idée que le mouvement inertial est une caractéristique essentielle d'un corps, lorsqu'on fait abstraction des contingences extérieures auxquelles il peut être soumis. L'expression est d'ailleurs reprise dans la *Dynamica de potentia* sous la forme de « *per* *se* ». La justification que donne Leibniz du principe d'inertie évolue dans les années suivantes alors qu'il prend connaissance du principe d'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier. Ainsi, dans les feuillets du *De corporum concursu*, Leibniz présente une formulation du principe dans laquelle il invoque la nécessité que l'effet soit équivalent à la cause pour justifier la tendance d'un corps à persévérer dans un mouvement uniforme dans la même direction. Ce recours à une raison suffisante pour justifier le principe sera encore plus explicite dans la *Dynamica de potentia*, alors que Leibniz propose une démonstration des propriétés géométriques du mouvement simplement simple en s'appuyant sur des principes architectoniques, qui sont eux-mêmes des incarnations du principe de raison suffisante.

De plus, c'est dans ce même texte consacré à la dynamique que Leibniz accorde au principe d'inertie un rôle important dans la construction des concepts de sa dynamique et dans l'explication des phénomènes concrets de la nature. En effet, l'auteur de la *Dynamica de potentia* considère au départ un corps libre par soi, c'est-à-dire un corps se déplaçant en l'absence de la gravité et des autres obstacles qui peuvent exister, et tente de construire *a priori* des concepts comme ceux de l'effet formel, de l'action formelle et de la puissance motrice absolue. À ces concepts s'ajoutent les principes de conservation de la puissance et d'autres outils utiles pour décrire les mouvements des corps et les changements de mouvements de ces corps lors d'interactions avec d'autres corps ou en présence de la gravité. Notre exposé de cette partie de la *Dynamica de potentia* ne constitue qu'une très brève exploration de ce texte et ne rend par compte de l'envergure du travail accompli par Leibniz en ce domaine. Nous avons procédé de cette façon afin de consacrer plus d'espace à l'étude de la dernière section de la *Dynamica de potentia* consacrée au choc des corps, dans laquelle Leibniz utilise les outils développés dans les parties précédentes afin de décrire un phénomène de la physique concrète. À cette fin, la dernière section de la deuxième partie de la *Dynamica de potentia* intitulée *De concursu corporum* constitue sans aucun doute l'exemple le plus intéressant par lequel Leibniz présente la méthode qui devrait être utilisée pour traiter un problème concret de physique. Le choc des corps a été depuis Descartes un sujet d'étude très populaire au XVII^{e} siècle et a suscité la contribution de plusieurs philosophes. Leibniz lui-même a pris connaissance des travaux de ses contemporains qui portaient sur ce sujet et il a approfondi sa réflexion dans les manuscrits écrits dans les années 1676-1678 qui ont abouti aux feuillets du *De corporum concursu.* Dans ce contexte, il peut être intéressant de considérer comment il intègre les résultats obtenus dans ces ébauches de 1678. Par la même occasion, il sera possible de constater que le mouvement libre par soi, qui représente la version leibnizienne du principe d'inertie, y joue là aussi un rôle important qui est dans une certaine continuité avec celui que lui a octroyé Leibniz dans la première partie de la *Dynamica de potentia.*

Chapitre V. — Le rôle du mouvement libre par soi dans le *De concursu corporum*

Le *De concursu corporum*, qui est l'objet de la dernière section de la *Dynamica de potentia*, en constitue le point culminant, puisqu'il permet à Leibniz d'utiliser les outils conceptuels qu'il a développés dans les sections précédentes pour expliquer l'un des problèmes les plus importants en philosophie de la nature, soit celui du choc des corps. Il convient de rappeler que ce problème représente pour la philosophie mécaniste le point de départ à partir duquel peuvent être expliqués tous les phénomènes de la nature et qu'à ce titre, il a été un objet d'étude pour tous les philosophes et savants du XVII^e intéressés par la philosophie de la nature. Leibniz lui-même y a consacré beaucoup d'efforts comme en témoignent les feuillets du *De corporum concursu* de janvier-février 1678. Dans ces feuillets, Leibniz cherchait à justifier le recours à un principe absolu de conservation afin de démontrer les règles du choc en partant d'hypothèses différentes de celle de Huygens et de Mariotte. De façon plus précise, Leibniz voulait manifestement éviter de faire appel au principe de relativité comme l'avait fait Huygens pour démontrer ces règles et visait plutôt, comme le souligne Fichant, « à déterminer ce qu'il y a d'absolu dans le mouvement, sous les noms de force ou de puissance[356]. » Cette section de la *Dynamica de potentia* consacrée au choc des corps se situe dans une continuité avec les brouillons de 1678 consacrés au même sujet. On y retrouve sous une forme plus structurée les grandes intuitions ou dans certains cas les grandes découvertes qui apparaissaient dans les feuillets du *De corporum concursu*. Mentionnons entre autres le principe de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier, ainsi que les principes de conservation qui en découlent. Notre objectif dans ce dernier chapitre est, d'une part, de mettre en lumière la méthode synthétique *a priori*

[356] Fichant [1994], p. 56.

qu'utilise Leibniz pour expliquer deux phénomènes de la physique concrète, soit celui du mouvement d'un agrégat de corps et celui du mouvement circulaire d'un corps et, d'autre part, de faire ressortir le rôle que joue le mouvement libre par soi dans ces explications. Dans cette perspective, il est nécessaire de considérer au départ l'hypothèse mécaniste qui oriente toutes les explications que présente Leibniz dans cette section. Deux affirmations tirées de la correspondance avec Hartsoeker résument assez bien cette hypothèse :

> Tout se peut faire et se faire mechaniquement dans la matiere et par la seule communication des mouvements[357].

> Et un corps selon moy n'est jamais poussé que par des corps selon les loix de la mécanique[358].

Ces lois de la mécanique, ce sont essentiellement les principes de conservation de la puissance absolue présentés dans la *Dynamica de potentia* et les autres principes de conservation qui en découlent. Or, pour faire comprendre comment ces principes s'appliquent dans des cas concrets et pour faire voir comment ils acquièrent un caractère de validité, Leibniz utilise différents modèles. Le premier est celui de corps qui ont des mouvements libres par soi, c'est-à-dire des mouvements rectilignes uniformes qui sont modifiés lorsqu'ils entrent en collision avec d'autres corps. Un second modèle utilisé par Leibniz est celui de la force élastique présente dans un ressort afin d'expliquer le phénomène du choc des corps. À ces deux modèles, il convient d'en ajouter un troisième, soit celui de la cohésion de la matière, qui constitue un élément indispensable à son explication du mouvement circulaire. Cette dernière explication est d'autant plus importante qu'elle est au cœur de la démonstration *a priori* de la loi générale de l'équipollence des hypothèses qu'il propose dans cette section. Compte tenu que cette loi

---

[357] GP, III, 508.
[358] *Ibid.*, p. 529.

exprime dans les faits le principe de relativité sous sa forme générale, il sera intéressant de suivre de près l'argumentation que propose son auteur.

1. La conservation de la puissance absolue lors du choc des corps

La toute première proposition de cette dernière section de la *Dynamica de potentia* est d'une importance capitale, car elle résume bien la perspective dans laquelle Leibniz envisage tout le problème du choc des corps.

Proposition 1

> Si un nombre quelconque de corps entrent en collision de quelque façon, la puissance absolue demeure toujours égale, c'est-à-dire la somme des produits des poids ou quantités de matière de chaque corps par les hauteurs qu'ils peuvent atteindre provenant de la force de leurs vitesses; ou le produit des poids, ou de la quantité de matière de tous les corps ensemble, par la hauteur du centre de gravité de l'ensemble, qu'il peut atteindre en vertu de la force des vitesses présentes dans les corps en question[359].

La proposition affirme la conservation de la puissance absolue lors d'une collision élastique. Elle est mieux connue sous le nom de principe de conservation de la force vive et a été proposée par Huygens dans son *De motu corporum ex percussione*, écrit en 1656. Ce dernier la formula de nouveau dans une lettre publiée dans le Journal des Sçavans en 1669. Dans cette lettre, Huygens présente sans les démontrer les règles du mouvement dans la rencontre des corps. La règle qui exprime la conservation de la force vive est la sixième d'une série de sept règles et elle apparaît sous la forme suivante : « La somme des produits faits de la grandeur de chaque corps dur, multiplié par le quarré de sa vitesse, est toujours la

---

[359] GM, VI, 490.

mesme devant & apres leur rencontre[360]. » Dans l'écrit de 1656, elle constitue la onzième proposition d'une série de treize et Huygens en donne une démonstration laborieuse de nature géométrique. Chez Leibniz, à l'opposé, la proposition apparaît au tout premier rang et découle du principe métaphysique de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier. Dans sa proposition, Leibniz affirme que cette puissance absolue (mv^2) peut être mesurée à partir des hauteurs verticales atteintes par les corps qui au départ se déplaçaient avec des vitesses initiales v. Cette mesure de la vitesse, qui avait été déduite expérimentalement par Galilée, a été démontrée *a priori* par Leibniz dans la proposition 32 (chapitre 1, section 1, partie II). De plus, il est possible d'observer que Leibniz présente une version très générale du principe de conservation en considérant un nombre quelconque de corps (*quotcunque*) et en utilisant la notion du mouvement du centre de gravité pour décrire le mouvement de l'ensemble de ces corps. De plus, Leibniz prend soin d'exclure la gravité et les autres circonstances extérieures lors de la collision et ne considère que l'action réciproque de ces corps l'un sur l'autre. Le fait que Leibniz a présenté ce principe de conservation de la puissance absolue en premier lieu est significatif de sa démarche, puisque dans les faits, il s'appuie sur ce principe pour démontrer les règles du mouvement pour le choc de deux corps et les autres propositions de la section. Dans la mesure où tous les phénomènes considérés dans cette section se réduisent en dernière analyse au choc des corps, ce principe de conservation de la puissance absolue s'appliquera en toute généralité à tous ces phénomènes. Par ailleurs, on doit observer que la démarche de Leibniz n'est pas seulement d'appliquer un principe de conservation, qui a été démontré *a priori*, à un problème qui relève essentiellement de la physique concrète, mais de rendre intelligible cette application.

[360] C. Huygens, *Extrait d'une lettre de M. Hugens à l'auteur du journal sur les regles du mouvement dans la rencontre des corps,* dans *op. cit.*, T. XVI, p. 180.

Voilà pourquoi, après avoir présenté cette première proposition, Leibniz développe un modèle des collisions qui puisse rendre compte de la conservation de la puissance absolue.

2. Le modèle élastique des collisions

Pour expliquer le phénomène du choc des corps, Leibniz fait appel au modèle du ressort. Suivant ce modèle, il y a au moment du choc une déformation des corps. Leibniz imagine alors un ressort qui serait comprimé pour recevoir la force de l'impact et qui par la suite se détendrait pour permettre aux corps de repartir avec une certaine vitesse. Cette description est contenue dans les trois propositions suivantes :

> Proposition 2
>
> Si un ressort, lorsqu'il se détend, agit sur deux corps, il imprime à ceux-ci des *conatus* inversement proportionnels aux corps.
>
> Proposition 5
>
> Il n'y a pas de corps parfaitement indéformables.
>
> Proposition 6
>
> Les corps n'agissent pas directement lors de leurs mouvements réciproques, ils ne sont pas non plus mus directement, mais seulement par l'intermédiaire de leurs ressorts[361].

L'intérêt le Leibniz pour la théorie du choc élastique des corps se manifeste vers janvier 1678 lorsqu'il écrit les sections 5 et 6 des feuillets du *De corporum concursu*. Il est possible de présumer qu'il a été influencé en ce domaine par ses lectures du *Traité de la percussion ou du Chocq des corps*, de Mariotte, et par le *Mechanica : sive de Motu, Tractatus geometricus*, de Wallis, puisque ces derniers utilisaient ce modèle afin d'obtenir les règles du choc. Les premiers feuillets du *De corporum concursu* de 1678 où Leibniz parle du choc élastique, qu'il appelle la percussion, et de la force de percussion absorbée par le ressort témoignent de ses hésitations et de ses interrogations et révèlent la présence de plusieurs

[361] GM, VI, 489, 491, 492.

confusions[362]. Dans la proposition 2 de cette dernière section de la *Dynamica de potentia, De concursu corporum*, Leibniz présente le modèle du ressort accompagné du schéma suivant :

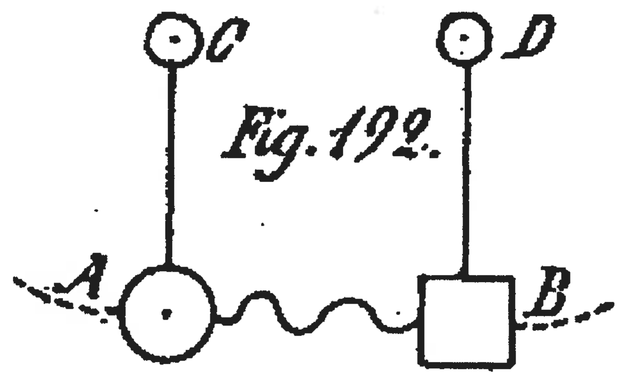


Fig. 12 — *Collision de deux corps par l'intermédiaire d'un ressort*

Source : GM, VI, *Dynamica de potentia*, figure 192.

Deux masses A et B sont retenues par des ficelles et reliées entre elles par un ressort qui en revenant à son état non comprimé (ou étiré) agit sur les deux masses : il les repoussera l'une de l'autre s'il est comprimé, il les attirera l'une vers l'autre s'il est étiré. Leibniz affirme que les vitesses acquises par les corps A et B sont inversement proportionnelles à leurs poids. La démonstration que donne Leibniz fait appel à deux propositions déjà démontrées dans une section précédente qui porte sur la cause et l'effet. La première affirme que pour une même puissance, les hauteurs atteintes par les corps sont inversement proportionnelles aux poids de ceux-ci. La deuxième affirme que deux corps qui entrent en collision et s'arrêtent mutuellement ont la même force respective[363].

---

362 Voir Fichant [1994], p. 242-243.

363 Dans le présent contexte, Leibniz veut parler de la force morte. Voir à ce sujet les précisions que Leibniz apporte dans l'*Essay de dynamique sur les loix du mouvement, ou il est monstré, qu'il ne se conserve pas la même quantité de mouvement, mais la même force absolue, ou bien la même quantité de l'action motrice*, GM, VI, 219.

Par la suite, dans les propositions 5 et 6, Leibniz cherche à montrer que tous les phénomènes du choc s'expliquent en faisant appel à ce modèle élastique. Dans un premier temps, Leibniz affirme dans la proposition 5 qu'il n'existe pas de corps qui soit indéformable. La justification s'appuie sur le principe de continuité appliqué à la collision simple de deux sphères identiques qui au départ se déplacent l'une vers l'autre et qui retournent après la collision dans des directions contraires à celles qu'elles avaient au départ :

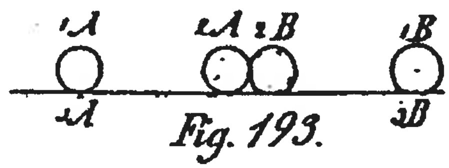


Fig. 13 — *Collision frontale de deux sphères*

Source : GM, VI, *Dynamica de potentia,* figure 193.

La sphère A qui initialement se déplace vers la droite se déplacera vers la gauche après la collision. Or, soutient Leibniz, un tel changement de direction ne peut se faire de façon instantanée, car cela serait absurde. Il faut au contraire que le changement soit graduel et que chacun des corps se déforme avant de parvenir peu à peu à l'état de repos et de repartir par la suite dans la direction inverse. Leibniz invoque la loi de continuité pour soutenir ce raisonnement : « De plus le principe général suivant lequel les changements ou les transitions ne se font pas par sauts, soit par rapport au temps ou par rapport à d'autres déterminants, est de la plus grande importance dans les mathématiques et dans la nature[364]. » Affirmer que tous les corps se déforment et reviennent à leur forme initiale

[364] « *Principium autem generale, quod mutationes vel transitus non fiant per saltus sive temporis sive aliorum determinantium respectu, maximi in Mathesi et Natura momenti est.* », GM, VI, 491. Dans le *Specimen*

après un certain temps, c'est par la même occasion affirmer qu'ils se comportent comme des ressorts. Voilà pourquoi, dans un deuxième temps, dans la proposition 6, Leibniz explique que les corps lors d'une collision agissent réciproquement l'un sur l'autre par l'intermédiaire de leurs ressorts. Puisque tous les corps sont déformables, il est possible de supposer qu'un corps subira une déformation finie avant de recevoir d'un autre corps un degré de vitesse ou un *impetus* ou de le perdre par l'action d'un autre corps. « Que les corps soient déformés avant d'être poussés, nous l'apprenons par l'expérience[365] », ajoute Leibniz. Dans le *Specimen dynamicum*, ce dernier soulignait de nouveau l'importance de ce point en avouant s'être inspiré de Mariotte : « Il découle de cela ce que Descartes rejetait dans ses lettres et que d'autres grands hommes refusent encore maintenant d'admettre, que toute réflexion se produit par le ressort, et la raison en est fournie par plusieurs brillantes expériences qui indiquent que les corps sont déformés avant d'être propulsés, ce que Mariotte a illustré de brillante façon[366]. » Ayant ainsi expliqué que le phénomène du choc ne peut se comprendre qu'à partir du modèle du ressort, Leibniz, par la suite, s'appuie sur celui-ci afin de démontrer certaines propositions utiles pour la description d'un agrégat de corps.

3. Le mouvement d'un agrégat de corps

Dans ces propositions, Leibniz propose une stratégie pour décrire le mouvement de l'agrégat ainsi que les collisions qui ont lieu à l'intérieur de celui-ci. Le point de départ de son analyse est le principe de la conservation de la puissance absolue énoncé au début de la

---

dynamicum, il reprend le même argument : « *Huic Legi Continuitatis a mutatione saltum excludentis etiam illud consentaneum* [...] », GM, VI, 249.

[365] « *Quod corpora prius flectantur quam impellantur, discimus etiam experimentis.* », GM, VI, 492.

[366] « *Sequitur ex his quod Cartesius in Epistolis impugnaverat, et nunc quoque magni quidam viri admittere nolunt, omnem reflectionem oriri ab Elastro, et multorum praeclarum experimentorum ratio redditur, quae indicant corpus prius flecti quam propellatur, quod Mariottus perpulchre illustravit.* », GM, VI, 249.

section. Puisque cette situation est plus complexe que celle où ne sont présents que deux corps, l'auteur de la *Dynamica de potentia* opère une simplification en séparant le mouvement commun de l'ensemble de ces corps du mouvement relatif de ces corps les uns par rapport aux autres. L'objectif ultime est de démontrer que le mouvement de l'ensemble est équivalent au mouvement d'un seul corps situé au centre de gravité de cet ensemble et se déplaçant suivant un mouvement libre par soi si aucune force extérieure n'est exercée sur l'ensemble. De plus, Leibniz s'efforce de montrer qu'il y a, pour cet ensemble, conservation de la puissance absolue et conservation de la quantité de progrès, c'est-à-dire de la quantité de mouvement orientée dans la direction du mouvement de l'ensemble. Nous résumerons la présentation qu'en donne Leibniz à travers les différentes propositions qui font partie de cette démarche.

3.1. La force respective pour le choc de deux corps

Proposition 7

> Si deux corps agissent réciproquement l'un sur l'autre, la force d'action respective est la même, ou (dans le cas où les corps entrent en collision) la force du choc est la même, que le mouvement soit dans n'importe quel des corps, pourvu que ce soit la même la force qui fait tendre le ressort, c'est-à-dire pourvu que la vitesse qui décrit la variation de la distance entre les corps, que j'appelle vitesse respective, reste la même. Et l'action qu'exerce un corps sur l'autre est égale à celle qu'il reçoit de l'autre et réciproquement[367].

Cette proposition, qui se résume au fait que la force respective lors de la collision de deux corps ne dépend que de la vitesse respective entre ces corps, est inspirée de Mariotte. Celui-ci écrit dans son *Traité de la percussion ou du Chocq des corps*, dans la proposition 3, Second Principe d'expérience : « Lorsque deux corps se chocquent directement, la puissance ou la force de leur chocq pour faire impression l'un sur l'autre est la mesme, soit

[367] GM, VI, 492.

qu'ils aillent l'un contre l'autre avec des vitesses égales ou inégales, ou qu'un seul des deux soit en mouvement, ou que tous deux aillent de mesme part; [...] pourveu que la vitesse respective soit toujours le mesme[368]. » L'adhésion de Leibniz à ce principe n'a pas été immédiate et illustre bien le long cheminement de sa réflexion avant qu'il n'arrive à l'exposé définitif de la *Dynamica de potentia.* Ainsi, en janvier 1678, Leibniz se pose la question : « On demande si la percussion est la même si les mêmes corps s'approchent avec la même vitesse, quelle que soit d'ailleurs la vitesse propre absolue de chacun[369]. » Il effectue ensuite un calcul pour une masse $m_2 > m_1$ en supposant à tort que la force totale se mesure par la somme scalaire des quantités de mouvement et conclut que la proposition est fausse : « *Igitur concludo sic : falsa est propositio quod eadem sit percussio, si corpora sibi eadem celeritate propinquent*[370]. » Leibniz va reconnaître éventuellement son erreur, mais il mettra un certain temps avant d'admettre la proposition de Mariotte. À ce propos, Fichant ajoute que « la difficulté que Leibniz rencontre devant l'admission pleine et entière de cette proposition est assurément l'une de celles dont la résolution apportera à « Réforme », quand elle s'accomplira, les garanties de sa pertinence[371] ». La proposition en soi est importante, car elle n'est pas étrangère au fait que Leibniz a abandonné la croyance en un espace réel et absolu. Ainsi, dans le *Phoranomus*, Leibniz affirme, par la voie de Lubinianus, comment il a été naguère amené à douter de l'existence d'un espace et d'un mouvement absolu :

> En outre, un grand doute s'est installé en moi à propos de la nature du mouvement. En effet, lorsque autrefois je concevais l'espace comme un lieu réel immobile doté de la seule extension, je pouvais définir le mouvement absolu comme un changement de cet espace réel. Mais peu à peu je commençai à douter qu'il y un tel

---

[368] E. Mariotte, *Traité de la percussion ou du chocq des corps,* Paris, 1673, p. 25-26, cité in Fichant [1994] p. 247.
[369] LH 35, 9, 23, f° 13v°, trad. in Fichant [1994], p. 248.
[370] LH 35, 9, 23, f° 13v°, *Ibid.*, p. 248.
[371] Fichant [1994] p. 248.

> être dans la nature, qu'on appelle espace; par la suite, je doutai aussi du mouvement absolu [....] D'où par la suite, il m'a semblé que ce qu'il y a dans le mouvement réel et absolu ne consiste pas en ce qui est purement mathématique, qui est un changement de voisinage ou de lieu, mais dans la puissance motrice.[372]

Par la suite, Lubinianus-Leibniz mentionne, pour appuyer cette opinion, le fait que la force de percussion ne dépend que de la vitesse respective :

> Nous avions donc de nouveau quelque chose dans la nature qui n'est pas mathématique, surtout puisque les expériences mêmes des mouvements enseignaient que, lorsque deux corps concourent, la nature veille avec une attention admirable à ce que la force du choc soit la même et (si on suppose l'un ou l'autre doué de sensibilité) qu'il y ait la même quantité de douleur, pourvu que les corps s'approchent avec la même vitesse respective, de sorte qu'il n'importe pas que le mouvement soit supposé dans l'un ou dans l'autre, ou qu'on le suppose distribué dans l'un et l'autre en quelque proportion que ce soit, tout comme s'il n'y avait aucun mouvement absolu[373].

Dans le *Specimen dynamicum*, Leibniz présente ainsi la proposition suivant laquelle la force de percussion est la même si la vitesse respective est la même en la déduisant cette fois de la relativité des mouvements :

> Il suit aussi de la nature respective des mouvements, que *l'action réciproque des corps l'un sur l'autre ou la percussion est la même, pourvu qu'ils s'approchent l'un de l'autre avec la même vitesse*. C'est-à-dire que si les apparences dans les phénomènes demeurent les mêmes, quelle que soit la véritable hypothèse avec laquelle nous attribuons le mouvement ou le repos, le même événement sera produit dans les phénomènes recherchés ou dans les résultats, de même en ce qui concerne l'action des corps entre eux[374].

Dans la *Dynamica de potentia*, la proposition est justifiée exclusivement à partir du modèle du ressort auquel il a recours pour décrire l'interaction entre les corps :

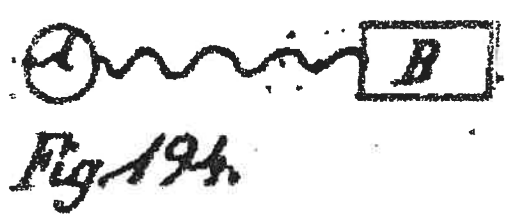


Fig. 14 — *Modèle élastique d'une collision*

Source : GM, VI, *Dynamica de potentia, figure 194.*

[372] « Phoranomus seu De potentia et legibus naturae. Dialogus II. », *Physis*, 28, 1991, p. 810-811.
[373] *Ibid.*, p. 811.
[374] GM, VI, 248.

Leibniz explique que le ressort, par l'intermédiaire duquel le corps A agit sur le corps B et vice versa, est étiré de la même façon, si on suppose constante la vitesse respective. Celle-ci pourra être une vitesse d'approche, auquel cas le ressort sera comprimé, ou une vitesse d'éloignement, auquel cas le ressort sera étiré. L'action d'un corps sur l'autre n'existe que par le ressort et celui-ci agit également et simultanément sur les deux corps en leur imprimant des forces respectives égales[375]. C'est pourquoi les deux corps subissent la même action et exercent aussi la même action l'un sur l'autre. On doit expliquer de la même façon le choc immédiat des corps, alors que le ressort est contenu dans les parties des mêmes corps. Le ressort agit ainsi comme un intermédiaire entre les corps dont le rôle est d'absorber pendant un certain temps la force que ces derniers possèdent en vertu de leur mouvement et de la leur redonner par la suite. Même si Leibniz n'a pas inventé ce modèle du ressort, il a su mieux que quiconque sans doute en percevoir la fécondité et il a su l'intégrer habilement à sa dynamique pour présenter une description du choc des corps qui soit en accord avec les outils conceptuels qu'il a présentés dans les sections précédentes. C'est sur la base de ce modèle qu'il faut considérer les autres propositions de cette même section qui ont pour but de démontrer qu'il y a conservation de la force lorsque deux ou plusieurs corps sont en interaction les uns avec les autres.

3.2. Le calcul de la force respective

La méthode qu'utilise Leibniz pour décrire le mouvement d'un ensemble de corps consiste à séparer le mouvement de l'ensemble ou, pour être plus précis, du centre de gravité de cet ensemble, du mouvement relatif des corps entre eux alors qu'ils interagissent les uns avec

[375] Il s'agit de la force morte. Voir note page 214.

les autres. Dans ce but, Leibniz commence par préciser comment calculer en général la force respective totale de deux corps :

Proposition 9

> La force respective avec laquelle deux corps peuvent agir réciproquement l'un sur l'autre, est cette partie de la force absolue qu'on obtient en attribuant aux corps des vitesses inversement proportionnelles aux poids des corps eux-mêmes et dont les grandeurs sont telles qu'il en découle la même vitesse respective, que celle qu'ils ont maintenant à cause du présent choc[376].

L'énoncé est complexe et ne prend tout son sens qu'à travers les propositions qui le suivent. Pour en saisir la signification, il suffit de se reporter aux feuillets du *De corporum concursu* de 1678 où Leibniz a découvert la méthode pour calculer la force respective qu'il appelait alors la force de percussion. On observe à la *Scheda* 9 que Leibniz part dans les faits d'une relation qu'il avait posée à la *Scheda* 6 pour déterminer l'expression de la force de percussion : Force totale – Force résiduelle = Force de percussion. Dans cette relation, la force totale est donnée par $\Sigma\ mv^2$ (ou $m_1\ v_1^2 + m_2\ v_2^2$ dans le cas où il n'y a que deux corps), la force résiduelle correspond à la force du centre de gravité et est égale au produit de la masse totale par le carré de la vitesse du centre de gravité ($M_{tot}\ v_{CG}^2$ où $M_{tot} = m_1 + m_2$ et $v_{CG} = (m_1\ v_1 \pm m_2\ v_2) / (m_1 + m_2)$). Dans la *Scheda* 9, Leibniz révèle les sources de son inspiration pour une telle description :

> En outre il est clair par là que la force résiduelle est celle qu'ont les corps comme s'ils étaient portés tous deux sur un bateau de sorte que le mouvement du bateau soit celui de leur centre de gravité. C'est pourquoi la force résiduelle est le moment du centre de gravité ou le carré de la vitesse du centre de gravité par la somme des corps. D'où il appert que ces mouvements, en vérité, ne sont pas composés arbitrairement; en outre, que tous les corps sont considérés comme reliés par leur centre de gravité et comme mus ainsi par la cause qui est la cause de la gravité comme ne formant qu'un seul tout agrégé[377].

---

[376] « *Propositio 9. Vis respectiva qua duo corpora possunt agere in se invicem, est ea pars vis absolutae, quae habetur corporibus velocitates tribuendo ipsis corporibus reciproce proportionales et tantas, ut inde sequatur eadem celeritas respectiva, quam nunc ob concursum prasentem habent.* », GM, VI, 493.

[377] LH 37, 5, f° 89r°, trad. par Michel Fichant in Fichant [1994] p. 325.

Par cette image du bateau qui se déplace sur une rivière et sur lequel un certain nombre de corps sont en interaction, Leibniz utilise un modèle où le mouvement du centre de gravité correspond à celui du bateau et où les interactions entre les corps peuvent être décrites par rapport au centre de gravité de la même façon qu'elles peuvent l'être par rapport au bateau. En suivant les indications données ci-dessus par Leibniz, il est possible d'obtenir pour chacun des deux corps des vitesses par rapport au centre de gravité qui correspondent exactement à ce qu'il présente dans la proposition 9 de cette dernière section de la *Dynamica de potentia*. D'ailleurs, dans les propositions suivantes Leibniz précise la façon d'utiliser le calcul de la force respective et explique comment le principe de conservation de la puissance absolue totale peut être séparé suivant les deux parties du schéma utilisé précédemment, soit le mouvement du centre de gravité et le mouvement des corps par rapport à ce centre de gravité.

3.3. La conservation de la force respective

La proposition suivante affirme dans les faits la conservation de la force respective pour des collisions parfaitement élastiques.

Proposition 10

> La force respective avec laquelle les corps agissent ne change pas en quantité par l'action réciproque qu'ils ont l'un sur l'autre, pourvu que les corps exercent et subissent l'action seulement de façon réciproque, et pourvu qu'aucune portion de la force ne soit retenue dans leurs parties. Tout ce qui est dit de deux corps, peut être généralisé au cas de plusieurs corps suivant la façon de procéder dans les propositions 3 à 7[378].

Cette proposition correspond à ce qui est appelé, dans la terminologie actuelle, la conservation de l'énergie cinétique totale de deux corps mesurée dans le système du centre

[378] GM, VI, 494.

de masse, pour des collisions élastiques. Par la même occasion, Leibniz élargit la description en affirmant que cette proposition ainsi que les précédentes peuvent s'appliquer à un nombre quelconque de corps, de là l'utilité de recourir au mouvement du centre de gravité pour simplifier la description. La proposition suivante confirme d'ailleurs toute cette perspective et rend plus claire la façon de calculer la force respective présentée à la proposition 9.

3.4. La puissance absolue d'un agrégat de corps en mouvement

Dans la proposition suivante, Leibniz procède à une subdivision de la puissance absolue en deux parties, soit la force respective et la force directive.

Proposition 11

> La puissance absolue d'un agrégat de plusieurs corps découlant de leur mouvement est composée de leurs forces respectives d'action réciproque l'un sur l'autre, et de la force progressive (d'action vers un troisième) exercée comme un seul corps ou la force directive[379].

Cette proposition peut être résumée de la façon suivante :

Puissance absolue = Force progressive + Somme des forces respectives

Dans cette expression, la force progressive ou directive, que Leibniz appelait force résiduelle dans le *De corporum concursu* de 1678, correspond à la force qu'ont ensemble les deux corps mus avec la vitesse de déplacement du centre de gravité, et la somme des forces respectives correspond à ce qu'il appelait alors la force de percussion. Gueroult mentionne que l'influence de Hobbes est évidente dans cette subdivision[380]. Dans la terminologie moderne, cette expression serait rendue de la façon suivante : Énergie

---

[379] « *Potentia absoluta aggregati plurium corporum ex motu eorum orta componitur ex vi eorum respectiva agendi in se invicem, et vi progressiva (agendi in tertium) per modum unius seu vi directionis.* », GM, VI, 495.

[380] Martial Gueroult [1967], p. 72.

cinétique totale d'un ensemble de masses = Énergie cinétique du centre de gravité + énergie cinétique des masses par rapport au centre de gravité. Cette proposition rend plus compréhensible la façon de déterminer la force respective décrite à la proposition 9 et, en outre, elle permet de voir la perspective sous laquelle Leibniz entrevoit tout le problème du choc des corps. En effet, l'approche utilisée consiste à décomposer le mouvement en parties simples et à considérer le mouvement de ces parties sous l'angle de la conservation de la force. La prochaine proposition fournira l'occasion de vérifier cette assertion et permettra de voir comment il intègre le mouvement libre par soi dans sa description du mouvement.

3.5. La conservation de la force progressive, de la vitesse du centre de gravité et de la quantité de progrès lors des collisions dans un agrégat de corps

Proposition 12

> Lors de la collision, la force progressive ou la force directive ne change pas, dans la somme composée des corps, mais est la même avant et après la collision, et *de même que dans des mouvements par soi libres*, demeurera la même non certes la quantité de mouvement, mais la quantité du mouvement suivant des parallèles quelconques ainsi que la vitesse du centre de gravité de tout le composé. Et peu importe que les corps soient mous ou durs, c'est-à-dire parfaitement élastiques[381].

Dans la démonstration qu'il donne de cette proposition, Leibniz suppose au départ que les collisions sont parfaitement élastiques. Dans ce cas, comme il a été affirmé à la proposition 1, il y a conservation de la puissance absolue totale lors des collisions. De plus, il a été démontré à la proposition 10 qu'il y a conservation de la force respective lors de ces collisions. Par conséquent, la force progressive demeure elle aussi constante lors des collisions, puisqu'elle est obtenue en soustrayant la force respective de la puissance absolue. L'agrégat des corps en mouvement se comporte alors comme si toute la masse était concentrée dans un seul corps rigide. La vitesse progressive de l'ensemble est alors

[381] GM, VI, 496.

constante, de même que la vitesse d'un corps est constante lorsque la force de ce même corps est constante. Leibniz conclut cette brève démonstration par ce passage important qu'il commentera longuement dans la suite de son explication :

> C'est pourquoi la quantité de progrès, à savoir le produit de la vitesse progressive par la masse totale du corps ou le poids, reste la même, si cette vitesse ou cette quantité de progrès trouve une issue, ce qui se produit naturellement si les corps sont *mus librement et par soi*, autrement cette vitesse reste à l'intérieur du *conatus*, comme c'est le cas lorsque les corps sont maintenus en mouvement circulaire autour d'un centre immobile et qu'ils ne peuvent poursuivre leur mouvement suivant la tangente au cercle...*En outre, si les corps se meuvent par soi librement, c'est-à-dire avec la force de l'impetus précédent et suivant sa direction, ils se déplaceront en ligne droite et avec un mouvement uniforme. Et par conséquent le centre de gravité ira alors toujours avec la même vitesse suivant la même droite dans la même direction*[382].

En résumé, Leibniz affirme la conservation de la quantité de progrès et de la vitesse du centre de gravité d'un agrégat de corps qui se déplacent suivant des mouvements libres par soi. Considérons d'abord la conservation de la vitesse du centre de gravité.

3.5.1. La conservation de la vitesse du centre de gravité

Ce résultat est remarquable, puisqu'il constitue aux yeux de Leibniz, une démonstration de ce que Huygens qualifiait, dans sa lettre de 1669 au *Journal des Sçavans*, de loi admirable de la nature. Ce dernier présentait ainsi cette loi, sans cependant en fournir une démonstration : « Au reste j'ai remarqué une loi admirable de la Nature, laquelle je puis démontrer en ce qui est des corps Sphériques, et qui semble estre générale en tous les autres tant durs que mols, soit que la rencontre soit directe ou oblique : C'est que le centre commun de gravité de deux ou trois ou de tant qu'on voudra de corps avance toujours également vers le même côté en ligne droite devant et après leur rencontre[383]. » Cette règle

[382] GM, VI, 496. Les italiques ne sont pas dans le texte.
[383] C. Huygens, *op. cit.*, T. XVI, p. 181.

de l'invariance du centre commun de gravité, on en trouve déjà la trace chez Leibniz dans les ébauches de 1677 qui mènent au *De corporum concursu* de même que dans les feuillets de l'opuscule. Fichant affirme qu'elle « va constituer le point fixe et le recours de Leibniz au milieu de ses incertitudes conceptuelles et des confusions où se perdent ses calculs[384]». La présentation qu'en donne Leibniz ici est d'autant plus intéressante qu'elle marque un progrès par rapport à une première tentative de démontrer ce même résultat qu'il avait faite dans les feuillets du *De corporum concursu* de 1678. Ainsi on peut lire à la *Scheda* 9 de janvier 1678 : « Il faut tenter de démontrer la règle de la conservation de la translation de centre de gravité dans les mouvements et les concours des corps; si nous y parvenions nous aurions obtenu un résultat considérable en phoronomie[385]. » La démonstration de cette règle que donne Leibniz en 1678 est basée sur un dispositif complexe constitué d'une balance dont les bras soutiennent des plans horizontaux sur lesquels des corps se déplacent et peuvent entrer en collision. En considérant le choc de ces corps, Leibniz tente de démontrer que si on suppose que la translation du centre de gravité ne reste pas la même avant et après le choc, alors cette machine produirait un mouvement perpétuel artificiel, ce qui est absurde. Par comparaison avec celle-ci, la démonstration présentée dans la *Dynamica de potentia* est certes plus simple et a un caractère plus général, puisqu'elle est conçue pour un ensemble quelconque de corps parfaitement élastiques ou pas.

L'habileté de Leibniz réside dans le fait d'avoir séparé le mouvement du centre de gravité de celui des corps qui se rencontrent lors des collisions et d'avoir montré que le mouvement de ces corps par rapport au centre de gravité ne modifie en aucune façon le mouvement du centre de gravité. Ainsi, dans l'explication qu'il ajoute à la démonstration précédente,

---

[384] M. Fichant [1994], p. 353.
[385] LH 37, 5, f° 88r°, trad. In Fichant [1994], p. 318.

Leibniz met cet aspect en relief d'une façon particulière. Il affirme d'abord qu'il est possible de faire abstraction du choc des corps en ajoutant à chacun de ceux-ci une vitesse respective égale et de sens contraire à celle qu'il avait antérieurement, c'est-à-dire d'ajouter une vitesse d'éloignement si ce corps se rapprochait de l'autre ou de lui ajouter une vitesse de rapprochement si au départ il s'éloignait de l'autre corps, ces vitesses étant inversement proportionnelles aux masses des corps, de telle sorte qu'en faisant disparaître de façon artificielle ce mouvement relatif, on fait aussi disparaître la force respective qui lui était associée. En ce cas, le mouvement du centre de gravité devient évidemment identique à celui de l'ensemble des masses qui se déplacent sans faire de collisions. Or, dans ce cas il est possible de prouver que le mouvement de l'ensemble sera rectiligne et uniforme. Le calcul est alors purement géométrique et est décrit dans une proposition de la deuxième section de cette deuxième partie de la *Dynamica de potentia*, intitulée *De centro gravitatis et directione*. Il s'agit en l'occurrence de la proposition 17 : « Si des points quelconques sont mus en ligne droite, leur centre de gravité sera aussi mu en ligne droite; et si les mouvements des points sont uniformes ou au moins proportionnels entre eux, le mouvement du centre de gravité sera aussi uniforme ou au moins proportionnel aux précédents[386]. » Par ailleurs, Leibniz présente la même situation sous un autre angle en affirmant que même si on tient compte du choc des corps par rapport au centre de gravité, on obtient le même résultat, puisque les vitesses des corps par rapport au centre de gravité ont été définies de telle sorte qu'elles sont inversement proportionnelles aux masses. Dans ce cas, lorsque les corps se rencontrent lors d'une collision, ils s'arrêtent et toute leur force est momentanément transmise au ressort, par la suite, lorsque le ressort se détend, il imprime à chacun des corps, comme il a été vu à la proposition 2, une vitesse inversement

[386] GM, VI, 486.

proportionnelle aux masses des corps, de telle sorte que pendant tout ce processus le centre de gravité reste au même endroit (*eodem loco manet centrum gravitatis*[387]), dans le système du centre de gravité, il va sans dire. Après avoir ainsi démontré et expliqué comment le centre de gravité d'un ensemble de corps se déplace à vitesse constante, Leibniz conclut cette explication en reprenant son énoncé du départ où est encore une fois mis en relief le rôle prépondérant du mouvement libre par soi

> En général donc, *le centre de gravité de corps qui se meuvent par soi (c'est-à-dire en gardant la force acquise précédemment) et librement (c'est-à-dire sans attache) et pour cette raison suivant une ligne droite et avec un mouvement uniforme, progresse uniformément en ligne droite dans la même direction*, soit que les corps entrent en collision les uns avec les autres, soit que non[388].

Or dans toute cette présentation de Leibniz, il est possible d'observer que le statut octroyé à ce mouvement libre par soi est essentiellement le même que celui qu'il avait dans la première partie de la *Dynamica de potentia*, consacrée à la dynamique simple ou abstraite des choses, soit celui d'une abstraction. Deux raisons peuvent être données à l'appui de cette affirmation. En premier lieu, Leibniz précise bien que les corps qui composent cet ensemble sont eux-mêmes par soi et libres, c'est-à-dire en mouvement simplement simple, de sorte que si le mouvement de chacun de ces corps peut être conçu comme une abstraction, *a fortiori* le mouvement de l'ensemble peut être perçu de la même façon. En second lieu, le concept même de centre de gravité est une abstraction mathématique dans la mesure où il ne peut être obtenu que par des outils mathématiques et n'est l'objet d'aucune observation et par conséquent le mouvement simplement simple de cette entité partage le caractère d'abstraction qui en est à l'origine. Dans la deuxième partie de cette proposition 12, Leibniz présente un deuxième principe de conservation très important dans l'étude du

---

[387] GM, VI, 497.

[388] « *In universum igitur, corporum per se (seu vi pristina retenta) et libere (sine retinaculo) adeoque lineis rectis et motu uniformi motorum centrum commune gravitatis uniformiter pergit in recta ad easdem partes, sive corpora haec inter se concurrant, sive non.* », GM, VI, 497-498.

choc, soit celui de la conservation de ce qu'il appelle la quantité de progrès, c'est-à-dire de la somme vectorielle des quantités de mouvement de chacun des corps.

3.5.2 La conservation de la quantité de progrès

Ainsi, à la suite de l'affirmation précédente concernant le mouvement du centre de gravité d'un ensemble de corps en mouvement par soi et libres, Leibniz présente de nouveau ce qu'il avait énoncé dans la deuxième partie de la proposition 12 : « En outre, le centre de gravité avançant en ligne droite à vitesse constante, de même aussi la quantité de progrès des corps qui composent ce centre et qui se déplacent par soi et libres, restera la même dans la même direction suivant des parallèles[389]. » Dans la démonstration, Leibniz considère trois points qui se déplacent sur des segments parallèles à vitesse constante et détermine les projections de ces segments suivant une direction quelconque. Par la suite, il détermine la projection du mouvement du centre de gravité de ces points suivant la même direction et il affirme que le produit de la projection de ce déplacement par la masse totale est égale à la projection de la quantité de mouvement totale suivant la même direction. En d'autres mots, la quantité de mouvement du centre de gravité est égale à la quantité de mouvement totale des corps suivant la même direction que celle du mouvement du centre de gravité. Cette dernière quantité que Leibniz nomme la quantité de progrès a été l'objet d'une attention particulière, elle revêt une grande importance dans sa physique, dans la mesure où elle lui fournit l'occasion de corriger l'erreur commise par Descartes dans l'évaluation qu'il faisait de la quantité de mouvement en ne tenant pas compte de la nature vectorielle de cette quantité.

[389] GM, VI, 498.

Ainsi, dans le premier *Essai de dynamique,* écrit en 1692, Leibniz explique comment doit être interprétée cette conservation de la quantité de mouvement orientée et en quoi elle diffère de la quantité de mouvement utilisée par Descartes :

> On pourrait aussi donner une autre interprétation à la quantité de mouvement selon laquelle cette quantité se conserverait, mais ce n'est pas celle que les Philosophes ont entendue. Par exemple, les corps A et B allant chacun avec sa vitesse, la quantité totale du mouvement est la somme de leurs quantités de mouvement particulières, comme la force totale est la somme de leurs forces particulières; et c'est ainsi que Descartes et ses sectateurs ont entendu la quantité de mouvement, et pour en être assuré on n'a qu'à voir les règles du mouvement que lui ou d'autres, qui ont suivi son principe, ont données. Mais si l'on voulait entendre par la quantité de mouvement, non pas le mouvement absolument pris (où l'on n'a point égard de quel côté il va) mais l'avancement vers un certain côté, alors l'avancement total sera la somme des quantités de mouvement particulières, quand les deux corps vont d'un même côté. Mais lorsqu'ils vont l'un contre l'autre, ce sera la différence de leurs quantités de mouvement particulières. Et on trouvera que *la même* quantité d'avancement se conserve. Mais c'est ce qu'il ne faut pas confondre avec la quantité de mouvement prise dans le sens ordinaire[390].

De même dans l' *Essay de dynamique sur les loix du mouvement*, de 1698-99, Leibniz revient sur le même sujet dans des termes semblables à ceux utilisés dans la *Dynamica de potentia* :

> Je remarque encore une autre conservation, c'est celle de la Quantité du progrès, mais ce n'est pas non plus la conservation de ce qu'il y a d'absolu. J'appelle progrès la Quantité du mouvement avec laquelle on procède vers un certain côté, de sorte que si le corps allait d'un sens contraire, ce progrès serait une quantité négative. Or lorsque deux ou plus de corps concourent, on prend le progrès du côté où va leur centre de gravité commun, et si tous ces corps vont de ce même côté, alors il faut prendre la somme des progrès de chacun pour le progrès total ; et il est visible que dans ce cas le progrès total et la quantité de mouvement totale des corps sont la même chose[391].

Le principe de la conservation de la quantité de progrès a un caractère d'universalité plus grand que celui de la conservation de la force absolue ou de la force respective, puisqu'il est valide pour toutes les sortes de collisions, élastiques ou inélastiques, ce que reconnaît

---

[390] G. W. Leibniz, *Essay de dynamique*, in P. Costabel [1960], p. 105.
[391] GM, VI, 216-217.

d'ailleurs Leibniz à la fois dans cet *Essay de dynamique* de 1698-99[392] et dans la *Dynamica de potentia*. Ainsi, à la suite de cette démonstration de l'invariance de la quantité de progrès lors d'une collision, Leibniz ajoute que cette règle est vraie même si une partie du choc est absorbée à cause de l'inélasticité des corps et transférée à des parties non visibles des corps, car la force progressive totale, ou si l'on préfère la force du centre de gravité, ne dépend pas de la force du choc et n'est pas altérée par celui-ci.

3.5.3 La méthode leibnizienne : une reconstruction *a priori*

En rétrospective, il est possible d'affirmer que l'objectif de Leibniz dans les propositions 7 à 12 était de décrire le mouvement en principe complexe d'un agrégat de corps en interaction entre eux. La description qu'en donne Leibniz est une occasion privilégiée d'observer la méthode qu'il utilise et par le fait même de connaître une des caractéristiques importantes de son épistémologie. Or de ce point de vue, le trait dominant qui ressort de la stratégie adoptée par Leibniz est la volonté de simplifier un problème qui est au départ complexe afin d'avoir accès à une connaissance de la physique du phénomène. Ce processus de simplification se traduit par une reconstruction *a priori* du mouvement complexe d'un agrégat de corps à partir de ses éléments les plus simples et en particulier du mouvement rectiligne et uniforme d'un corps. Observons les différentes composantes de ce processus de simplification. En premier lieu, Leibniz pose comme hypothèse que les corps qui font partie de l'agrégat sont en mouvement libre par soi, c'est-à-dire en mouvement simplement simple, comme il l'a appelé lorsqu'il en a démontré les propriétés dans la première partie de la *Dynamica de potentia*. Si cette hypothèse est implicite dans les

[392] Dans cet *Essay de dynamique*, Leibniz présente trois équations pour décrire le choc des corps : la première concerne la conservation de la vitesse respective, la deuxième concerne la conservation de la quantité de progrès, la troisième concerne la conservation de la force totale absolue. Leibniz affirme que seule la deuxième est valide pour les collisions qui ne sont pas parfaitement élastiques. Voir GM, VI, 230.

propositions 7 à 11, elle est explicite dans la démonstration de cette proposition 12 et elle est même omniprésente, puisque Leibniz mentionne à sept reprises le mouvement libre par soi des corps qui font partie de l'agrégat ou du centre de gravité de cet agrégat. Le fait de considérer des corps en mouvement rectiligne et uniforme est une simplification dans la mesure où elle permet de décrire les déplacements et les vitesses par des segments de droites qui peuvent être traités par une géométrie relativement simple. Une deuxième simplification qu'opère Leibniz est le fait de séparer le mouvement d'ensemble de l'agrégat des corps du mouvement respectif des corps entre eux. Leibniz démontre alors que le mouvement de cet agrégat est équivalent au mouvement d'un seul corps se déplaçant en mouvement libre par soi et arrive ainsi à réduire un nombre quelconque de mouvements de corps et de leurs collisions à un mouvement qui peut être qualifié du mouvement le plus simple d'un seul corps. Certes, Leibniz n'est pas le premier à utiliser cette description, Huygens avant lui avait découvert les avantages qu'elle offrait, allant même jusqu'à la qualifier de loi admirable de la nature, mais s'il est un caractère qui ressort de la présentation qu'en fait Leibniz, c'est son effort pour en simplifier la description par le recours à des opérations de pensée afin d'en expliquer le fonctionnement. Enfin, une troisième simplification, la plus importante sans doute, peut être observée dans la façon dont Leibniz traite le mouvement d'un agrégat de corps. Celle-ci découle des deux premières simplifications mentionnées plus haut et donne un sens à toute son approche. Il s'agit des trois principes de conservation qui s'appliquent au mouvement de l'agrégat : les principes de conservation de la force progressive, de la quantité de progrès totale de l'agrégat et de la vitesse du centre de gravité. Or, il est nécessaire de rappeler que même si ces principes ont été déduits au départ à partir de collisions parfaitement élastiques, ils restent valides, comme l'affirme Leibniz, pour toutes les sortes de collisions, élastiques et non élastiques. Ces principes constituent une simplification du problème posé au départ, d'une part, parce qu'ils s'appliquent essentiellement au mouvement d'un seul corps, soit celui qui représente la masse totale et qui se déplace avec la vitesse du centre de gravité, d'autre part, parce que, en utilisant ces principes, il est fait abstraction des collisions des corps entre eux, qui de ce fait peuvent être de n'importe quelle nature et, à la limite, être totalement absentes. À la simplicité de l'objet s'ajoute bien sûr la simplicité des outils mathématiques qui traduisent ces principes de conservation.

Par ailleurs, il est intéressant d'observer la façon dont Leibniz entend appliquer dans le domaine des choses sensibles de telles règles obtenues à partir de principes tirés de la physique abstraite. Ainsi, à la fin de son explication de la proposition 12, il présente l'exemple de deux sphères suspendues à des ficelles afin de montrer comment appliquer une règle idéale, soit celle de la conservation de la quantité de progrès pour des corps en mouvement libre par soi, dans des cas concrets où le mouvement libre par soi n'existe pas dans les faits : « D'où il résulte que cette règle se retrouve suffisamment vraie dans des corps sensibles, qui se déplacent de façon suffisamment libre, comme il peut être observé dans des pendules, et même si une partie de la puissance respective se perd dans le choc, et jusqu'au point où en pratique la somme de toute la puissance absolue n'est pas conservée[393]. » Cette remarque de Leibniz permet de voir la transition harmonieuse qu'il propose entre un élément de sa physique abstraite et la physique des objets concrets. Observons attentivement cet exemple des deux sphères suspendues verticalement à des ficelles. En considérant le mouvement horizontal des sphères, la présence des ficelles constitue ce qu'il appelle un *retinaculum* qui fait en sorte que ces corps ne peuvent pas être

[393] GM, VI, 390.

considérés comme libres. Cependant, au moment du choc des corps et aux instants qui le précèdent et le suivent de peu, la présence des ficelles n'entrave pas beaucoup le mouvement horizontal des corps et il est alors possible de les considérer comme suffisamment libres et, par conséquent, d'appliquer la règle de conservation de la quantité de progrès, comme si ces corps étaient en mouvement libre par soi. De plus, Leibniz reconnaît, à la suite de cette remarque, la possibilité que la collision ne soit pas totalement élastique de sorte que les puissances absolue et respective ne soient plus conservées, auquel cas la règle de la conservation de la quantité de progrès reste valide, ce qui lui assure un caractère d'universalité. Dans ce dernier cas, Leibniz ajoute qu'il est possible de faire des expériences sur les matériaux utilisés afin de calculer la diminution de la force absolue et par la suite de pouvoir prédire la diminution de la force dans d'autres cas. Dans ce contexte, l'exemple des sphères suspendues à des ficelles que Leibniz ajoute à la fin de sa démonstration apporte un éclairage intéressant. Ainsi, les principes de conservation, qu'il a démontrés à partir du mouvement abstrait de corps libres par soi, s'appliquent dans ce cas avec un degré d'approximation qui peut s'avérer d'autant meilleur que l'on connaîtra les propriétés élastiques de ces corps ainsi que les autres contraintes auxquelles ils sont soumis. De cette façon, le modèle utilisé par Leibniz remplit adéquatement son rôle dans la mesure où il offre une plus grande intelligibilité des phénomènes et dans la mesure où il est corroboré par l'expérience.

La description que fait Leibniz du mouvement d'un agrégat de corps dans ces quelques propositions conserve encore aujourd'hui toute sa valeur. Par sa rigueur et son souci de simplicité, elle démontre la compréhension qu'avait Leibniz du phénomène, ainsi que la justesse des outils qu'il a développés pour en donner l'explication. Par la même occasion, elle permet d'observer une différence dans l'utilisation que font Leibniz et Newton du mouvement rectiligne et uniforme en l'absence de forces extérieures. Newton a plutôt cherché à préciser la nature de l'interaction entre les corps et à partir de celle-ci, il en a déduit le mouvement subséquent de ces corps, et ce faisant, il a en quelque sorte considéré de l'extérieur ce mouvement rectiligne et uniforme en précisant les conditions de sa disparition. Leibniz, de son côté, a considéré de l'intérieur, la situation du mouvement libre par soi, en précisant la nature de la quantité de progrès qui y est conservée et de la force progressive. Une telle description est obtenue par un processus de simplification où sont négligées jusqu'à un certain point la nature des interactions présentes entre ces corps. La comparaison entre Leibniz et Newton sera poursuivie dans la section suivante dans laquelle Leibniz se propose de démontrer le principe de relativité pour tous les mouvements, à l'encontre de Newton pour qui ce principe était valide pour les mouvements rectilignes et uniformes seulement.

4. La démonstration de l'équipollence des hypothèses

Dans les propositions suivantes de la section *De concursu corporum* de la *Dynamica de potentia*, Leibniz donne une démonstration très générale de l'équipollence des hypothèses qu'il qualifie de loi de la nature. La construction de la démonstration présente plusieurs similitudes avec l'étude d'un agrégat de corps qui a été faite dans les propositions précédentes. Leibniz démontre d'abord l'équipollence des hypothèses pour les mouvements simples que sont les mouvements rectilignes et uniformes et pour les collisions des corps qui sont animés de tels mouvements et par la suite, il tente de démontrer que les autres mouvements plus complexes comme par exemple le mouvement circulaire, sont composés de mouvements rectilignes uniformes. Ces propositions ne constituent qu'une étape pour préparer la proposition 19 dans laquelle Leibniz affirme que l'équipollence des hypothèses est une loi générale de la nature, valide pour toutes les sortes de mouvements. Nous considérerons chacune des étapes dans la construction de cette démonstration en faisant ressortir le rôle prépondérant qu'y joue le mouvement libre par soi, ainsi que les principes de conservation exposés dans les propositions précédentes. Nous ferons une critique de cette démonstration en étudiant attentivement la façon dont Leibniz tente d'harmoniser certains éléments de sa physique abstraite avec les phénomènes de la nature.

4.1. L'équipollence des hypothèses pour les phénomènes simples

Le terme « hypothèse » utilisé par Leibniz dans le présent contexte signifie tout simplement un système de référence dans lequel sont observés des phénomènes quelconques. Ce dernier considère d'abord les phénomènes les plus simples que sont les mouvements rectilignes uniformes des corps et les collisions que ceux-ci peuvent avoir entre eux. En ce qui concerne la première partie qui concerne les mouvements rectilignes uniformes, Leibniz mentionne que la preuve est de nature géométrique et qu'elle a été donnée à la proposition 16 du chapitre 2, section II, partie II. Nous considérerons les éléments les plus importants de celle-ci et par la suite, nous résumerons comment l'équipollence des hypothèses peut être appliquée aux phénomènes du choc.

4.1.1. L'équipollence des hypothèses pour les mouvements rectilignes uniformes

Proposition 16 (chap. 2, section II, partie II)

> Les mêmes Phénomènes des corps (c'est-à-dire leurs positions entre eux à des temps donnés) peuvent être obtenus par différentes Hypothèses (c'est-à-dire d'attributions de mouvements et de repos et de directions). Et si les phénomènes peuvent être représentés par des mouvements rectilignes uniformes, ils pourront

> toujours être représentés par une quantité innombrable de telles sortes de mouvements, pour un mobile assurément auquel est attribué le repos ou un mouvement rectiligne uniforme donné[394].

Dans la démonstration, Leibniz imagine trois points A, B, C dans des mouvements rectilignes uniformes et parallèles. Par la suite, à partir de considérations purement géométriques, il démontre que la vitesse respective entre les points B et C, telle que mesurée par rapport au point A, sera la même, quel que soit le mouvement de A ou son état de repos. L'auteur ajoute ensuite que ce qui est vrai du point A l'est aussi d'un autre point quelconque et de plusieurs autres et enfin, de la totalité des points, de sorte que la proposition est vraie pour les mobiles eux-mêmes. Il n'est pas nécessaire d'entrer dans les détails de cette démonstration, mais il convient de considérer avec attention la conclusion apportée par Leibniz puisqu'elle apporte un éclairage significatif sur le statut de cette loi de la nature qu'est l'équipollence des hypothèses, et par voie de conséquence sur le mouvement simplement simple sur lequel elle s'appuie. En effet, Leibniz écrit à la suite de sa démonstration :

> C'est pourquoi rien n'empêche que quelque hypothèse soit vraie, si nous ne désirons rien d'autre qu'une possibilité mathématique. Nous comprenons naturellement dans le mouvement ce qui est purement mathématique et ce qui seul peut être connu, à savoir évidemment les positions et leurs changements. Mais la partie physique, qui porte évidemment sur les causes des actions et sur les sujets des forces, ainsi que les explications aptes à en rendre raison sont d'une autre considération[395].

Ainsi, Leibniz accorde à l'équipollence des hypothèses pour les mouvements rectilignes uniformes le statut d'abstraction mathématique et c'est à partir de ce statut que la proposition se prête au type de démonstration géométrique qu'il utilise. Par la même occasion, Leibniz établit une démarcation claire entre les mouvements qui sont plutôt du domaine des mathématiques et les causes de ces mouvements, ainsi que les effets qui en

---

[394] GM, VI, 484.
[395] GM, VI, 485-486.

découlent, qui sont plutôt du domaine de la physique, comme il est permis de le constater d'ailleurs à partir du chapitre de la *Dynamica de potentia* consacré au choc des corps. En ce qui concerne l'équipollence des hypothèses pour les mouvements rectilignes uniformes, cette loi tire son caractère de vérité de la rigueur des démonstrations géométriques dont Leibniz fait usage et la loi n'est valide que pour des objets en mouvement rectiligne uniforme et pour des observateurs qui sont eux-mêmes en mouvement rectiligne uniforme. Or, Leibniz ajoute à la toute fin de son explication un commentaire important qui justifie un tel choix : « De plus s'il y a plusieurs hypothèses, et si selon l'une d'entre elles les corps sont mus de façon uniforme, et si suivant l'autre ils sont mus autrement, et qu'il n'y a pas de causes externes qui s'ajoutent, alors la préférence est donnée à l'hypothèse du mouvement uniforme, parce que tout mouvement par soi est tel. C'est pourquoi aussi il sera tel, là où les causes de changement sont absentes[396]. » On retrouve dans ce passage l'énoncé de la proposition 8 du chapitre consacré au mouvement simplement simple de la première partie de la *Dynamica de potentia*, *Omnis motus per se est simpliciter simplex*, qui constitue comme l'avons déjà mentionné la version leibnizienne du principe d'inertie. Dans les deux cas, Leibniz souligne que le mouvement sera tel si les raisons d'un changement sont absentes. C'est donc en dernier ressort le principe de raison suffisante qui justifie le principe d'inertie chez Leibniz et, par voie de conséquence, la loi de l'équipollence des hypothèses qui découle de celui-ci. Ou, pour le dire autrement, en l'absence d'une raison qui puisse justifier le fait de privilégier une hypothèse plutôt qu'une autre, toutes les hypothèses sont équivalentes et dans ce cas il faut choisir la plus simple. Dans la mesure où pour l'instant Leibniz restreint cette loi aux mouvements rectilignes uniformes, sa position

[396] « *Porro si plures essent hypotheses, et secundum unam corpora moveantur uniformiter, secundum aliam secus, nec adsint externae causae, praeferenda est hypothesis motus uniformis, quia omnis motus per se est talis. Igitur hic quoque talis erit, ubi causae mutantes absunt.* », GM, VI, 486.

est la même que celles de Descartes, Huygens et Newton. C'est lorsqu'il tente de généraliser cette loi à tous les types de mouvements que Leibniz témoigne d'une certaine originalité, de là tout l'intérêt de considérer la démonstration qu'il propose dans le chapitre *De concursu corporum*. D'ailleurs, Leibniz lui-même à la fin de sa démonstration de l'équipollence des hypothèses pour des mouvements rectilignes uniformes (prop. 16, chap. 2, sect. II, Part. II) affirme que « les mêmes phénomènes sont aussi observés suivant une hypothèse quelconque, lorsque les corps entrent en collision les uns avec les autres, comme nous le démontrerons plus loin[397] ». Or, l'objectif de Leibniz dans la proposition 14 du chapitre *De concursu corporum*, dont nous avons amorcé l'étude, est précisément de faire cette démonstration.

4.1.2. L'équipollence des hypothèses pour les phénomènes du choc

Proposition 14

> Si les corps sont mus par leur *impetus*, alors quelle que soit l'hypothèse utilisée pour décrire les phénomènes des corps, une fois que la situation entre eux est décrite de façon satisfaisante dans un état quelconque antérieur ou dans la cause, elle est aussi décrite de façon satisfaisante dans un état quelconque postérieur ou dans l'effet, ou (pour le dire brièvement) les Hypothèses diverses ne peuvent pas être distinguées entre elles[398].

Leibniz rappelle d'abord que les hypothèses ne peuvent être distinguées dans les mouvements rectilignes et il ajoute qu'elles ne sont pas non plus distinguées dans le choc (*Sed nec concursu discernuntur*)[399]. Résumons l'argumentation que donne Leibniz. Puisque les vitesses respectives sont les mêmes avant et après le choc, (ce qui a été démontré précédemment pour des mouvements rectilignes uniformes), la force respective reste la

---

[397] GM, VI, 486.
[398] *Ibid.*, p. 500.
[399] *Ibid.*, p. 500.

même, étant calculée à partie de ces dernières et la force du choc, c'est-à-dire la force qui fait comprimer le ressort que l'on imagine à l'intérieur des corps, reste aussi la même, comme il a été démontré à la proposition 7. Par la suite, le ressort restitue en totalité ou en partie la force aux corps. Si la collision est parfaitement élastique, le mouvement des corps sera composé du mouvement commun et du mouvement respectif des corps entre eux qui seront les mêmes qu'avant le choc. Si le choc n'est pas parfaitement élastique, une partie de la force du choc sera absorbée par les corps et la vitesse respective de ceux-ci sera diminuée dans un certain rapport. Or, toute cette description est indépendante du mouvement de l'observateur ou pour employer les propres termes de Leibniz : « Puisque toutes ces choses se produisent de la même façon, quel que soit le véritable mouvement des corps avant le choc, il est clair par conséquent qu'à travers le choc, les hypothèses ne peuvent pas non plus être distinguées[400]. » L'énoncé de cette proposition 14 et la démonstration qu'en donne Leibniz tout en étant justes à tous les points de vue gardent un caractère abstrait qui risque d'en atténuer la portée. Voilà pourquoi sans doute Leibniz a choisi de présenter dans la proposition suivante une version simplifiée de cette loi de l'équivalence des hypothèses en cherchant à montrer qu'elle est corroborée par l'expérience.

Proposition 15

> Si un mouvement commun rectiligne est ajouté aux corps, leurs actions réciproques resteront les mêmes et les phénomènes entre eux resteront les mêmes. Et si plusieurs corps en plus de leurs mouvements propres sont transportés par le mouvement commun rectiligne d'un seul corps (comme un bateau), rien n'est changé en ce qui concerne les mouvements propres[401].

Leibniz ajoute un court commentaire qui dans les faits est un résumé de la démonstration de la proposition précédente : « En effet, le mouvement commun ne change pas les distances entre les corps et les vitesses respectives, comme il est manifeste. D'où les forces

---

[400] GM, VI, 501.
[401] *Ibid.*,p. 501.

respectives et les phénomènes des corps entre eux ne changent pas non plus[402]. Selon Leibniz, cette propriété confirme le fait que dans la composition des mouvements, la puissance est conservée, il ajoute que ces choses sont en accord avec l'expérience. Son exposé reproduit dans les faits le principe de relativité pour les mouvements rectilignes uniformes sous sa forme canonique :

> Si sur un bateau qui avance en ligne droite et qui ne subit pas de secousses, on s'amuse à provoquer des mouvements, on fera l'expérience des mêmes phénomènes que sur la terre. Et, dans l'expérience de Gassendi, les flèches qui sont lancées du bateau rejoignent le bateau qui avance par la force des rames et retombent sur celui-ci, de la même manière que si elles étaient lancées sur un bateau immobile à l'ancre, parce que naturellement la flèche a en plus du mouvement acquis par la projection, le mouvement qu'elle avait dans le bateau avant qu'elle n'en soit séparée. Il s'en suit que celui qui est transporté par un tel grand corps qui avance en ligne droite et qui est empêché de prendre conscience, en regardant à l'extérieur, d'un état de repos certain ou d'un mouvement reconnu, n'a pas le moyen de savoir s'il lui est attribué un lieu au repos ou en mouvement[403].

Rien de vraiment nouveau n'est apporté dans ce commentaire si ce n'est qu'il reproduit fidèlement les descriptions données par certains de ses prédécesseurs, comme Galilée, Gassendi et Descartes, et qu'il assure que l'équipollence des hypothèses qui a été démontrée à partir d'une description géométrique constitue dans les faits un outil très utile pour la description des phénomènes concrets. La partie la plus intéressante de son commentaire portant sur cette proposition 15 est donnée dans la toute dernière phrase où il affirme : « Dans les mouvements circulaires et dans les autres mouvements curvilignes, il semble à première vue que ces choses n'ont pas lieu, et il vaudra la peine dans la suite de rechercher la cause de cela et d'apporter une correction[404]. » De fait, l'objectif de Leibniz dans les propositions suivantes est de démontrer que l'équipollence des hypothèses est une

---

[402] *Ibid.*, p. 501.
[403] GM, VI, 501-502. Voir aussi le *Specimen dynamicum*, GM, VI, 253-254 où Leibniz reprend les mêmes propos d'un façon encore plus limpide en soulignant que cette explication est requise pour défendre l'hypothèse copernicienne.
[404] GM, VI, 502.

loi de la nature très générale et qui, par conséquent, inclut les mouvements circulaires. Il s'appuie pour cela sur le mouvement par soi libre et sur les propositions précédentes où est démontrée l'équipollence des hypothèses pour les mouvements rectilignes uniformes et pour le choc des corps. Dans cette perspective, la proposition suivante (17, puisque la proposition 16 n'existe pas dans le texte) fait le lien entre les mouvements rectilignes uniformes et les mouvements circulaires.

4.2. La composition des mouvements complexes

La démonstration de l'équipollence des hypothèses pour les mouvements rectilignes uniformes est, comme nous l'avons vu, relativement simple et est un fait accepté par la majorité des philosophes et savants du XVII^e siècle. Par ailleurs, en ce qui concerne les mouvements complexes comme le mouvement circulaire ou les mouvements curvilignes en général, la situation est différente. La stratégie de Leibniz à cet égard est de réduire tous ces mouvements complexes à une composition de mouvements simples, comme l'illustre la proposition suivante.

Proposition 17

Tous les mouvements sont composés de mouvements rectilignes uniformes[405].

L'explication que donne Leibniz dans le court paragraphe suivant mérite d'être lue attentivement, car elle révèle une partie importante des hypothèses de départ qui sous-tendent toute la dynamique de Leibniz :

> De fait *tout mouvement par soi est uniforme et rectiligne* (*Omnis motus per se est uniformis et rectilineus*); d'autre part, toute action dans les corps est constituée par un mouvement. C'est pourquoi un mouvement rectiligne ne peut être modifié que par le choc d'un autre qui s'y ajoute, ce dernier étant par soi rectiligne (s'il est permis que le mouvement antérieur soit maintenu) et donc, il n'est pas permis

[405] « *Omnes Motus sunt compositi ex rectilineis uniformibus.* », *Ibid.*, p. 502.

> d'imaginer aucune autre origine d'un mouvement curviligne et non uniforme que celle obtenue par la composition des mouvements rectilignes et uniformes[406].

On retrouve encore une fois comme point de départ de cette démonstration la version leibnizienne du principe d'inertie, celle qui était présentée dans le chapitre sur le mouvement simplement simple. Tout mouvement par lui-même est rectiligne et uniforme, toute modification de ce mouvement ne peut se faire que par le choc des corps. Ce dernier point constitue un des principes importants de la philosophie mécaniste et il est ainsi possible de mieux comprendre l'importance que Leibniz accorde au problème du choc des corps, non seulement dans cette dernière section de la *Dynamica de potentia*, mais aussi dans sa réflexion sur la physique dans les années antérieures. Par la même occasion, Leibniz, en adoptant cette position, rejette toute possibilité d'action à distance pour modifier le mouvement d'un corps, ce qui aura des conséquences lorsqu'il aura recours à un mécanisme complexe pour expliquer le mouvement circulaire. Avant d'étudier attentivement l'argumentation de cette proposition 17, il convient de jeter un coup d'œil sur la stratégie globale qui est adoptée par Leibniz. Puisque l'équipollence des hypothèses a été démontrée dans les propositions précédentes pour les mouvements rectilignes uniformes et pour le choc des corps, il s'agira de réduire tous les autres mouvements, et en particulier les mouvements circulaires à ces derniers. Pour démontrer cette assertion, Leibniz utilise un modèle, c'est-à-dire un mécanisme physique qui puisse rendre compte du mouvement circulaire en intégrant à la fois la possibilité de réduction mentionnée plus haut et les grands principes de conservation de la force démontrés dans les propositions précédentes.

Ce modèle est décrit de la façon suivante par Leibniz :

> Donc si un corps est frappé par un autre lorsqu'il est en mouvement rectiligne et est forcé à tourner dans un cercle, je pense qu'en réalité il a tendance à continuer en ligne droite, bien que une force d'adhésion, que je dérive d'une sorte de

---

[406] *Ibid.*, p. 502.

> mouvement, le repousse vers le centre. Et je soupçonne aussi que la Nature, par des moyens inconnus, conserve tous ses *conatus*, même les particuliers, et les conduit à leur fin[407].

Ce modèle se situe dans la tradition de la philosophie mécaniste issue de Descartes et de Hobbes entre autres et suivant laquelle les modifications des mouvements rectilignes uniformes de certains corps se font par l'interaction de corps qui leur sont contigus. Leibniz précise le fonctionnement de ce modèle à partir d'un schéma où sont illustrées deux masses A et B fixées aux extrémités d'une tige en mouvement circulaire autour du centre de la tige.

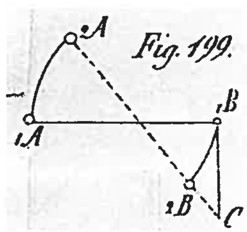


Fig. 15 — *Mouvement circulaire de deux masses*

Source : GM, VI, *Dynamica de potentia,* figure 199.

Leibniz considère que, même si les corps semblent avoir tendance à s'éloigner du centre, en réalité, la masse B par exemple a tendance à se déplacer du point $_1$B vers le point C, mais à cause d'une impulsion contraire produite par des corps imperceptibles (*corporum insensibilium*), elle est repoussée vers le centre, c'est-à-dire de C vers $_2$B. Deux exigences sont requises pour que ce modèle réponde aux besoins pour lesquels il est proposé. En premier lieu, Leibniz doit présenter un mécanisme physique qui puisse décrire comment se fait la transformation du mouvement rectiligne en mouvement circulaire, en second lieu, il doit montrer que ce modèle est compatible avec les grands principes de conservation présentés dans les sections précédentes. En ce qui concerne la première exigence, le mécanisme physique auquel Leibniz fait appel est celui de la cohésion. Essentiellement, le mécanisme de la cohésion fait intervenir « les mouvements imperceptibles de corps imperceptibles du milieu ambiant (*motus insensibiles corporum insensibilium ambientium*)

[407] *Ibid.*, p. 502.

dont la pression pousse les parties les unes vers les autres, d'où provient la solidité ou la cohésion[408] ». Ces mouvements expliquent, par le fait même, le changement de direction du mouvement du corps en rotation. Cette théorie de la cohésion joue un rôle important dans la physique de Leibniz et sera discutée plus à fond un peu plus loin, dans la proposition 20. Pour l'instant, il convient de considérer la deuxième exigence et d'observer d'un peu plus près comment l'auteur de la *Dynamica de potentia* explique la conversion de mouvements rectilignes uniformes en mouvements circulaires, dans le respect des principes de conservation énoncés précédemment.

Proposition18

> Si dans le composé des corps qui entrent en collision se produit à partir du choc une rotation, celle-ci se fera par rapport au centre de gravité commun, et les mouvements contraires réciproquement proportionnels ou respectivement égaux se compenseront de part et d'autre. Et ainsi la force respective restera la même et la force progressive ou la quantité de progrès du dit centre en mouvement rectiligne uniforme, comme dans les mouvements rectilignes, et ainsi dans les mouvements circulaires, et les autres mouvements qui naissent de leur composition. Si les mouvements ne sont pas tels, au moins les *conatus* peuvent-ils être compris comme tels et spécialement les *conatus* immédiatement avant le choc, qui par conséquent produiront des mouvement dits par soi, ou au moins, s'ils en sont empêchés, des *conatus* vers l'arrière de telle sorte que sera conservée la somme de la quantité de progrès[409].

Dans les faits, cette proposition affirme qu'il y a, dans le cas d'une collision dont le résultat est une rotation, conservation de la force respective et de la force progressive comme dans les collisions élastiques impliquant des corps en mouvements rectilignes uniformes. Leibniz justifie cette proposition à partir de la proposition précédente dans laquelle il était affirmé que tous les mouvements étaient composés de mouvements rectilignes uniformes. Cependant, si l'explication était limitée à cette seule considération, elle serait incomplète,

---

[408] *Ibid.*, p. 503.
[409] *Ibid.*, p. 503.

puisqu'on ne voit pas pourquoi dans ce cas la collision produit un mouvement circulaire, alors que dans le cas précédent elle produisait des mouvements rectilignes.

Pour présenter la collision, Leibniz imagine un dispositif constitué d'une tige qui peut pivoter autour de son centre G et aux extrémités de laquelle ont été fixées deux cavités C et D :

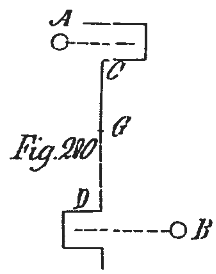


Fig. 16 — *Collision de deux masses avec une tige rigide*

Source : GM, VI, *Dynamica de potentia*, figure 200.

Deux corps se déplaçant avec des vitesses constantes dans des sens contraires entrent en collision avec cette tige en pénétrant dans chacune des cavités. Leibniz affirme « que par hypothèse, les mouvements des corps qui entrent en collision sont rectilignes et uniformes (et leurs *conatus* le sont toujours), suivant les lois des mouvements rectilignes uniformes, c'est-à-dire des mouvements libres et qui se produisent par soi, démontrées jusqu'ici, bien que par la suite ils changent à cause d'une action externe ou d'un obstacle[410] ». Par la suite, Leibniz explique comment, malgré la transformation de ces mouvements rectilignes uniformes en une rotation, les principes de conservation du mouvement du centre de gravité sont maintenus : « Ces *conatus* ne sont pas empêchés dans cette conversion des mouvements rectilignes en un mouvement circulaire, si ce n'est par une différence

[410] *Ibid.*, p. 504.

infinitésimale ou négligeable (*nisi differentia incomparabiliter parva seu inassignabili*)[411]. » Leibniz justifie cette affirmation en considérant le moment en quelque sorte évanescent où le mouvement rectiligne initial n'existe plus, mais où le mouvement circulaire n'a pas encore pris sa forme achevée. Il illustre son propos par un schéma grossissant où est illustrée la trajectoire réelle du corps A, immédiatement après la collision, ainsi que la trajectoire fictive qu'il aurait eue en l'absence de collision.

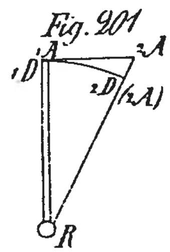


Fig. 17 — *Portion d'un mouvement circulaire*

Source : GM, VI, *Dynamica de potentia,*
figure 201.

Leibniz affirme qu'à cet instant initial qui marque le changement du mouvement rectiligne en un mouvement circulaire, la direction du corps A est changée d'une quantité infinitésimale, puisque la différence entre la droite ${}_1A_2A$ et l'arc de cercle ${}_1D_2D$ est infinitésimale lorsqu'on la compare avec ces mêmes quantités. De la même façon, on peut considérer que la vitesse du corps A, qui en l'absence de collision est mesurée par le segment ${}_1A_2A$, n'est pas modifiée, puisque l'effet de la force centrifuge qui est mesuré par le segment ${}_2A({}_2A)$ est négligeable. Il est donc possible d'affirmer qu'immédiatement après la collision, la variation de la direction est nulle et qu'elle devient appréciable au fur et à mesure de la progression du mouvement circulaire. En conséquence, si le centre de gravité était immobile avant le choc, il le sera après, conformément à ce qui a été démontré pour

[411] *Ibid.*, p. 504.

les collisions simples dans les propositions précédentes, puisque, ajoute Leibniz, « nous avons démontré que la rotation n'est rien d'autre qu'un mouvement qui par soi serait rectiligne, mais qui actuellement est dévié d'une quantité négligeable[412] ». De même, si le centre de gravité était en mouvement avant la collision, il maintiendra le même mouvement après la collision. Le centre de gravité se comporte alors comme un bateau en mouvement sur lequel a lieu une collision, de telle sorte que, quel que soit l'observateur, il y a conservation des vitesses respectives et des forces respectives. À la fin de sa démonstration, Leibniz ajoute que tout ce qui précède peut aussi être démontré à partir de la proposition suivant laquelle tous les mouvements sont composés de mouvements rectilignes uniformes. Or, puisque les forces respectives et les forces progressives sont conservées pour ces mouvements, elles le seront aussi pour les mouvements circulaires. Leibniz explique cela par le fait que les adhésions ou les solidités et, par conséquent, la conservation de la distance radiale des corps sont issues de pressions imperceptibles du milieu ambiant. « Mais, ajoute Leibniz, parce que ces pressions du milieu ambiant sont compensées par les *conatus* qui tendent à éloigner les corps du centre du cercle, et que rien de cela n'est changé par le fait que les forces d'inerties de ces mêmes corps sont transformées lorsque le mouvement rectiligne devient circulaire, les forces tant totales que respectives restent les mêmes, comme il est expliqué[413]. » Ce court extrait met en relief l'objectif poursuivi par Leibniz dans cette proposition, soit de montrer que les principes de conservation, qui s'appliquaient pour les mouvements rectilignes uniformes et pour les collisions simples, peuvent être appliqués à des collisions qui donnent lieu à des mouvements circulaires. L'intérêt de cette présentation réside dans le fait que là encore Leibniz s'appuie sur le mouvement simplement simple en réduisant par un processus d'abstraction mathématique

---

[412] *Ibid.*, p. 504.
[413] *Ibid.*, p. 506.

issu de la géométrie infinitésimale les débuts de mouvements circulaires à des mouvements rectilignes uniformes ou à tout le moins à des compositions de tels mouvements. Le deuxième élément sur lequel repose la thèse de la composition des mouvements complexes à partir des mouvements rectilignes uniformes est le mécanisme physique de la cohésion que Leibniz défend à la proposition 21. Nous suivrons l'ordre adopté par l'auteur et nous examinerons d'abord l'importante proposition dans laquelle il tente de démontrer l'équipollence des hypothèses dans le cas le plus général.

4.3. L'équipollence des hypothèses comme loi générale de la nature

Proposition 20

> La Loi de la Nature de l'équipollence des hypothèses que nous avons établie, à savoir qu'une Hypothèse qui cadre une fois avec les phénomènes présents cadrera toujours et même pour les phénomènes qui en découlent, est vraie non seulement pour les mouvements rectilignes (comme nous avons démontré jusqu'à maintenant), mais en général, quelle que soit la façon dont les corps agissent entre eux, pourvu évidemment que le système des corps ne communique pas avec d'autres, c'est-à-dire qu'aucun agent externe ne survienne[414].

L'équipollence des hypothèses est la seule loi explicitement présentée comme une loi de la nature dans la *Dynamica de potentia*. Leibniz en fournit deux démonstrations qui sont analogues à celles données pour la proposition précédente. Dans la première, il affirme qu'il y a équipollence des hypothèses en général, puisque tous les mouvements sont composés de mouvements rectilignes uniformes comme il a été démontré dans la proposition 16[415]. Or, puisque l'équipollence des hypothèses a déjà été démontrée pour les mouvements rectilignes uniformes, elle s'applique aussi aux mouvements qui en sont composés. Leibniz ajoute une deuxième façon de démontrer la proposition, soit à partir de

---

[414] *Ibid.*, p. 507.
[415] Leibniz a certainement voulu parler de la proposition 17, puisqu'il n'y a pas de proposition 16.

l'axiome général suivant lequel lorsque les déterminants de certaines choses ne peuvent être discernés, leurs déterminations ne peuvent pas l'être non plus. Par cette deuxième façon, il vise à démontrer l'équipollence des hypothèses lorsqu'il y a production d'un mouvement qui n'est pas rectiligne uniforme, comme c'est le cas lorsqu'une collision issue d'un mouvement rectiligne uniforme donne naissance à un mouvement circulaire. Compte tenu de l'importance de cette argumentation, il est nécessaire de la considérer telle que Leibniz la présente :

> De même que dans la cause ou dans l'état précédent, les hypothèses diverses ne peuvent être discernées, en autant évidemment que les corps sont portés par des mouvements rectilignes libres, elles ne peuvent non plus être discernées dans les effets ou dans les états subséquents quels qu'ils soient; non plus que dans les chocs ou dans d'autres événements quelconques, bien que certains mouvements soient convertis de rectilignes en circulaires par la cohésion ou la solidité ou par des liens qui retiennent les corps. Et donc, tous les mouvements – même les mouvements circulaires ou d'autres mouvements curvilignes – peuvent naître à partir de mouvements rectilignes uniformes précédents qui sont changés peut-être en mouvements curvilignes par des liens qui sont ajoutés. Et puisqu'un mouvement déjà donné, peu importe la manière dont il a été produit antérieurement, doit donner maintenant les mêmes résultats qu'un autre en tout point identique qui a été produit d'une autre façon; à cause de cela, de manière générale les hypothèses ne peuvent jamais être discernées par aucun phénomène, en toute rigueur mathématique. En général, lorsqu'un mouvement se produit, nous ne rencontrons dans les corps rien qui puisse être déterminé, sauf un changement de situation, qui consiste toujours dans une relation. C'est pourquoi le mouvement de par sa nature est relatif. (*Itaque motus sua natura est respectivus.*) Et ces choses sont connues en toute rigueur mathématique[416].

Dans cette démonstration, comme dans la précédente d'ailleurs, le mouvement simplement simple joue un rôle primordial. Il représente le point d'appui sans lequel la démonstration ne saurait tenir. En prenant comme prémisse la validité de l'équipollence des hypothèses pour les mouvements rectilignes uniformes, Leibniz ne fait que répéter dans ses propres mots une opinion maintes fois émises au XVII^{e} siècle, de Galilée à Newton, pour défendre l'hypothèse copernicienne concernant le mouvement de la terre. Dans la démonstration

---

[416] *Ibid.*, p. 507-508.

présentée ci-haut, Leibniz considère dans un premier temps ce mouvement rectiligne uniforme comme étant à l'origine de toutes les sortes de mouvement ou, si l'on veut, comme étant la cause de tout mouvement quel qu'il soit dans la mesure où celui-ci est précisément obtenu à partir du précédent par l'ajout d'une cause extérieure, comme par exemple une collision. Dans cette perspective, le mouvement par soi libre apparaît comme un substrat à partir duquel est construit le mouvement circulaire ou tout mouvement curviligne en général, que Leibniz décrit alors comme un effet du précédent. Or, le mouvement libre par soi étant obtenu par abstraction de toutes les contingences extérieures au corps se rapproche, comme nous l'avons mentionné précédemment, d'une abstraction mathématique et a, par conséquent, un statut ontologique qui lui correspond. Or, Leibniz en associant au début de sa démonstration la cause et l'effet au mouvement rectiligne uniforme et au mouvement circulaire, ne fait qu'affirmer qu'en vertu du principe de l'équivalence entre la cause pleine et l'effet entier, le mouvement circulaire ne saurait avoir un statut ontologique plus fort que la cause qui lui a donné naissance et donc ne saurait être utilisé pour déterminer l'existence d'un mouvement absolu. Dans un deuxième temps, Leibniz admet que dans certains cas un mouvement circulaire ne soit pas issu d'un mouvement rectiligne uniforme. Il suffit dans ce cas de considérer qu'il aurait pu l'être pour affirmer que la situation est équivalente à la précédente, puisqu'une fois le mouvement circulaire produit, rien ne permet d'identifier la façon dont il a été produit. La conclusion qu'apporte Leibniz est que, de par sa nature, le mouvement est relatif, tout mouvement pourrions-nous ajouter, puisqu'il insiste, en utilisant à plusieurs reprises les termes « *in universum* », « *generaliter* », sur le caractère universel et général de cette loi de l'équipollence des hypothèses qui exprime la relativité du mouvement. Cette conclusion est d'ailleurs confirmée par l'expression « *rigore mathematico* » qu'il utilise à deux reprises dans sa démonstration. On trouve dans la préface du *Phoranomus seu de potentia et legibus naturae* le sens précis que Leibniz donne à cette expression : « Le mouvement en toute rigueur mathématique n'est rien d'autre qu'un changement de position des corps entre eux, à plus forte raison il n'est pas un certain absolu, mais il consiste en une relation[417]. » Ainsi, en invoquant la rigueur des mathématiques pour justifier autant la loi de l'équipollence des hypothèses que sa démonstration, Leibniz semble lui accorder le statut d'une vérité mathématique qui, à première vue, semble inconciliable avec le projet d'une dynamique concrète qu'il s'est proposé de mener à terme dans cette deuxième partie de la *Dynamica de potentia*. En d'autres mots, s'il s'avère impossible de déterminer la vraie nature du mouvement, puisque celui-ci change suivant la perspective de l'observateur et à la limite peut même disparaître, comment dans ces circonstances est-il possible de construire une explication des phénomènes de la nature à partir d'une détermination des mouvements des corps. Or, à cette question très importante, Leibniz apporte une réponse intéressante dans la suite de cette proposition sur l'équipollence des hypothèses.

4.3.1. Le choix de l'hypothèse la plus apte

Après avoir affirmé et démontré que toutes les hypothèses sont équivalentes pour la description des phénomènes, Leibniz écrit : « Cependant, nous attribuons les mouvements aux corps suivant les hypothèses par lesquelles ils sont expliquées de la façon la plus apte; il n'y rien d'autre dans une hypothèse qui est vraie, que le fait d'être apte[418]. » Pour bien faire comprendre la signification du concept *aptus*, Leibniz cite l'exemple du bateau poussé sur la mer par le vent qui gonfle les voiles : « Il est possible d'expliquer de façon exacte

[417] « *Motus in rigore Mathematico nihil aliud est, quam mutatio situs corporum inter se, neque adeo absolutum quiddam est, sed in relatione consistit.* », *Phoranomus seu de Potentia et Legibus naturae* (c. 1688) in L. Couturat *Opuscules et fragments inédits de Leibniz*, Paris, Felix Alcan, 1903, p. 590.
[418] GM, VI, 508.

tous les phénomènes en supposant que le bateau est immobile et en imaginant que les mouvements de tous les corps de l'univers s'accordent avec cette hypothèse. Une telle hypothèse ne peut être réfutée par aucune démonstration mathématique, cependant elle serait inepte[419]». Cet exemple est une réplique fidèle de l'alternative qu'offrent les hypothèses ptoléméenne et copernicienne pour expliquer les mouvements des astres. Les deux hypothèses sont équivalentes aux yeux de Leibniz, cependant l'une est apte, l'autre inepte. Même si Leibniz offre peu d'information sur la nature du concept *aptus*[420], il est nécessaire d'explorer le sens qu'il peut revêtir dans le contexte. À cet égard, un premier élément est fourni par Leibniz lui-même dans sa correspondance avec Huygens. Ainsi, dans une lettre datée du 4/14 septembre 1694, Leibniz écrit à Huygens : « Je tiens donc que toutes les hypothèses sont équivalentes et lorsque j'assigne certains mouvements à certains corps, je n'en ai, ni puis avoir, d'autre raison que la simplicité de l'hypothèse, croyant qu'on peut tenir la plus simple (tout considéré) pour la véritable[421]. » Puisque toutes les hypothèses sont équivalentes, le choix de l'une d'entre elles est guidé par le critère de simplicité et le statut d'hypothèse vraie ou véritable ne peut être, dans les faits, que celui de l'hypothèse la plus probable. C'est en ce sens que Leibniz décrit la situation dans une lettre à Conring du 3 janvier 1678. Faisant allusion au fait que, dans certaines circonstances, il n'est pas possible de déterminer la cause vraie d'un effet, Leibniz ajoute que dans ces cas, « nous sommes contraints de nous contenter d'une hypothèse ou cause possible, qui sera d'autant plus probable qu'elle sera plus simple et plus harmonieuse, comme sont l'hypothèse copernicienne en astronomie et la cartésienne en certaines parties de la

[419] *Ibid.*, p. 508.
[420] Leibniz a très peu élaboré ce concept. Dans un écrit intitulé « *Introductio ad encyclopaediam arcanam* », Leibniz écrit dans la marge : « *Conceptus est aut aptus aut ineptus. Conceptus aptus est, de quo constat eum esse possibilem, seu non implicare contradictionem.* », A, VI, 4, A, 529.
[421] GM, I, 199.

physique[422] ». De même, dans une autre lettre à Conring, datée du 19 mars 1678, Leibniz écrit : « Il faut avouer que l'hypothèse est d'autant plus probable qu'elle est plus simple à comprendre, c'est-à-dire qu'elle peut résoudre plus de phénomènes et avec moins de présupposés[423]. » On retrouve aussi des propos semblables dans la préface du *Phoranomus seu de potentia et legibus naturae* : « Et puisqu'il est permis de préférer comme hypothèse, la plus simple, il sera aussi permis dans le même sens de l'enseigner comme la vérité[424]. » Il est possible de voir dans cette démarche qui consiste à choisir l'hypothèse la plus simple, parce que la plus probable, le prolongement dans le domaine de la physique de ce que Leibniz énonçait dans le domaine de la métaphysique : « Dieu a choisi celui [des mondes possibles] qui est le plus parfait, c'est-à-dire celui qui est en même temps le plus simple en hypothèses et le plus riche en phénomènes [...][425] » Dans les deux cas, le même principe de simplicité, qui dans les faits est un corollaire du principe de raison, doit guider le choix de la meilleure hypothèse. Dans ces circonstances, il est nécessaire d'explorer brièvement comment Leibniz entrevoit pour la physique ce choix de l'hypothèse la plus simple pour décrire les mouvements des corps.

Or, il est manifeste qu'aux yeux de Leibniz, ce choix doit se faire de façon à rendre le plus intelligible possible la description des phénomènes physiques. S'il a toujours soutenu, d'une part, la relativité de tous les mouvements, il a aussi soutenu, d'autre part, qu'il existe dans un corps en mouvement une force qu'il est possible de mesurer par sa capacité d'action. En conséquence, le choix de l'hypothèse devrait se faire en fonction de cette

---

[422] *A*, II, i, 386. trad. in Duchesneau [1993], p. 185.
[423] *A*, II, i, 399.
[424] « *Et cum permissum sit praeferri ut Hypothesin simpliciorem, permissum etiam erit, hoc ipso sensu doceri ut veritatem.* », *Phoranomus seu de Potentia et Legibus naturae* (c. 1688) in L. Couturat *Opuscules et fragments inédits de Leibniz*, p. 592.
[425] GP, IV, 431.

exigence d'intelligibilité qui se réduit, dans les faits, à expliquer les effets par leurs causes. Cette distinction entre les domaines de la géométrie et de la physique ressort clairement dans un passage du *Système nouveau de la nature et de la communication des substances aussi bien que de l'union qu'il y a entre l'âme et le corps*, écrit en 1695 :

> Et quant au mouvement absolu, rien ne peut le déterminer mathématiquement, puisque tout se termine en rapports : ce qui fait qu'il y a toujours une parfaite équivalence des Hypothèses, comme dans l'Astronomie, en sorte que quelque nombre de corps qu'on prenne, il est arbitraire d'assigner le repos ou bien un tel degré de vitesse à celui qu'on en voudra choisir, sans que les phénomènes du mouvement droit, circulaire, ou composé, le puissent réfuter. Cependant il est raisonnable d'attribuer aux corps des véritables mouvements, suivant la supposition qui rend raison des phénomènes, de la manière la plus intelligible, cette dénomination étant conforme à la notion de l'Action, que nous venons d'établir[426].

Il est possible qu'en ce qui concerne le rôle des hypothèses dans la physique, Leibniz ait été influencé par Kepler à qui il vouait une grande admiration. À ce propos, Bertoloni Meli, dans un livre récent, rappelle la thèse de Cassirer suivant laquelle le concept de *vera hypothesis* développé par Kepler dans le *Mysterium Cosmographicum* et l'*Apologia pro Tychone contra Ursum* a eu une influence certaine sur Leibniz[427]. Kepler aurait produit dans certains de ses écrits ce qu'un commentateur a qualifié de « traité formel concernant l'essence et la signification des hypothèses[428] ». Ainsi, dans son *Apologia Tychonis contra Nicolaum Ursum*, Kepler définit une hypothèse en général comme « quelque chose qui en vue d'une démonstration quelconque, est considérée comme vraie et démontrée[429] ». De telles hypothèses sont utilisées, selon Kepler, dans les domaines de la géométrie, de la logique et de l'astronomie. Dans ce dernier domaine, la *vera hypothesis* doit non seulement

---

[426] GP, IV, 486-487. Voir aussi la préface du *Phoranomus seu de Potentia et Legibus naturae* :« Et on répond que l'hypothèse qui est choisie est celle qui est la plus intelligible; il n'y a rien d'autre dans une hypothèse véritable que son intelligibilité [...] Par conséquent, une hypothèse vraie n'est rien d'autre que celle qui est employée correctement. », in L. Couturat *Opuscules et fragments inédits de Leibniz*, p. 591.

[427] Domenico Bertoloni Meli, *Equivalence and Priority: Newton versus Leibniz,* Oxford, Clarendon Press, 1993, p. 19.

[428] Carl von Prantl, "Galilei und Kepler als Logiker", *Sitzungsberichte der philosophisch-philogischen und historischen Classe des k. b. Akademie des Wissenschaften zu München,* II, NO. 4 (1875), p. 405.

[429] J. Kepler, *Opera ominia,* I, p. 239.

être corroborée par l'expérience, mais elle doit en outre être en accord avec un système de principes généraux physico-mathématiques. Or, à cet égard, il est possible d'observer des similitudes entre la conception keplerienne des hypothèses et celle de Leibniz. Ainsi, Kepler affirme que si diverses hypothèses font voir la même chose en tout en astronomie, il y a cependant une différence entre leurs conclusions à cause de considérations physiques[430]. Cette différence à laquelle fait allusion Kepler est très proche de cette adéquation entre la cause et l'effet que mentionne Leibniz dans la *Dynamica de potentia,* comme en témoigne ce court extrait de Kepler : « Puisque chez Copernic apparaît le plus bel ordre qui est entre la cause et ses effets, il est nécessaire que ce qu'affirme Copernic soit la véritable cause des mouvements rétrogrades [des planètes], c'est-à-dire que l'hypothèse ne soit pas une simple fiction[431]. » Quoi qu'il en soit de ce rapprochement possible entre Kepler et Leibniz en ce qui concerne le rôle des hypothèses, on doit reconnaître que le recours à la notion de force, pour identifier l'hypothèse la plus intelligible ou le mouvement véritable, appartient en propre à Leibniz. Or, le fait que celui-ci a, dans ses écrits de la période de maturité, constamment affirmé à la fois la relativité du mouvement et la nécessité de recourir à la force pour déterminer le mouvement vrai ou pour déterminer le sujet absolu auquel le mouvement[432] doit être attribué, a suscité de la part des commentateurs une certaine

---

[430] *Ibid.*, p. 240.

[431] J. Kepler, *Mysterii Cosmographici*, *Opera omnia*, I, p. 118.

[432] Ainsi, dans l'*Échantillon de découvertes sur les secrets admirables de la nature prise en général*, (1688), Leibniz écrit : « Il faut dire la même chose du mouvement, et aussi du lieu, car tous deux consistent en quelque chose de respectif seulement (ce que Descartes a justement reconnu), et l'on ne voit aucune raison déterminant exactement dans quelle mesure et à quel sujet absolu il faut assigner le mouvement. Mais la force motrice ou puissance d'agir est quelque chose de réel, et l'on peut la discerner dans les corps. » GP, VII, 314, trad. par Christiane Frémont dans *Leibniz. Discours de métaphysique et autres textes*, Paris, GF Flammarion, 2001, p. 297, voir aussi dans le même texte :« Le mouvement et le repos sont des choses relatives, qu'on ne peut assigner dans la nature; mais en revanche les forces, c'est-à-dire les causes des mouvements sont assignables. », A, VI, IV-B, 1630 traduit par Christiane Frémont dans *ibid.*, p. 307, voir aussi dans un fragment de 1702, [De la nature du corps et de la force motrice] : « En outre, si l'on supprime les forces, il ne reste rien de réel dans le mouvement en lui-même, car de la seule variation de la situation on ne peut déterminer où se trouve le mouvement véritable, c'est-à-dire la cause de la variation », GM, VI, 105-106,

perplexité ou du moins certains problèmes d'interprétation. Nous ne ferons pas ici un relevé de toutes ces opinions, mais nous ajouterons un bref commentaire qui tient compte du projet de Leibniz dans ce dernier chapitre de la *Dynamica de potentia* et en particulier de cette importante proposition 19. En effet, il nous a été possible de constater qu'un des objectifs de Leibniz dans ce chapitre était de montrer qu'il y conservation de la force pour toutes les collisions et que cette loi de conservation était maintenue pour tous les observateurs, c'est-à-dire, suivant toutes les hypothèses, pour utiliser sa terminologie. Or, il va de soi que d'un point de vue purement géométrique où on détermine des vitesses relatives, toutes les hypothèses sont équivalentes. Cependant, dans la pratique, il faut admettre qu'une hypothèse doit être préférée aux autres pour des raisons purement physiques. Dans cette perspective, l'exemple donné par Leibniz dans la démonstration de cette proposition 20 (section 3, partie II) est éloquent. Celui-ci imagine un bateau se déplaçant avec une certaine vitesse par rapport à la rive, suivant une première hypothèse. Dans ce cas, il sera facile de déterminer la force correspondant à ce mouvement, puisqu'il n'est besoin de connaître que la vitesse du bateau et sa masse. Leibniz ajoute qu'il est toujours possible de concevoir, suivant une autre hypothèse, que le bateau est immobile et que tous les autres corps de l'univers se déplacent par rapport à lui avec la même vitesse relative. Dans ce dernier cas, l'évaluation de la force s'avère pratiquement impossible, puisqu'il faudrait connaître les masses de tous les objets de l'univers. On est donc forcé d'admettre avec Leibniz que cette hypothèse serait inepte et que le véritable *subjectum* du mouvement est dans ce cas le bateau. Cette admission d'une hypothèse privilégiée du point de vue de la physique n'enlève rien à la généralité de la loi de l'équipollence des hypothèses. Pour accentuer cette idée et par le fait même pour souligner la distance qui le

traduit par Christiane Frémont dans *Leibniz. Système nouveau de la nature et de la communication des substances*, Paris, GF Flammarion, 1994, p. 184..

sépare de Newton à ce sujet, Leibniz revient, à la fin de la démonstration 19, sur le critère du mouvement circulaire qu'avait proposé Newton afin de déterminer l'existence d'un mouvement absolu. Il est important de jeter un coup d'œil sur l'argumentation de Leibniz, ne serait-ce que pour y constater là encore le rôle prédominant du mouvement rectiligne uniforme.

Leibniz, au moment où il écrit la *Dynamica de potentia*, a lu les *Philosophiae naturalis principia mathematica* de Newton et sait pertinemment que ce dernier donne dans ce texte deux exemples de mouvement circulaire et une explication pour justifier à partir de ceux-ci l'existence d'un mouvement absolu dans la nature. Or, Leibniz, en proposant une démonstration de la généralité de la loi de l'équipollence des hypothèses, doit, dans un premier temps, rejeter les explications de Newton et, dans un deuxième temps, il doit aussi proposer une alternative pour expliquer le mouvement circulaire qui soit compatible avec la loi de l'équipollence des hypothèses. Considérons d'abord la façon dont Leibniz rejette les prétentions de Newton, nous considérerons par la suite le modèle de la cohésion de la matière auquel il fait appel pour expliquer le mouvement circulaire. Ainsi, à la fin de la proposition 19, il écrit :

> Je me rappelle certes qu'un homme illustre a autrefois considéré que le siège ou le sujet des mouvements ne pouvait certainement pas être discerné à partir d'une observation des mouvements rectilignes, mais qu'il pouvait l'être à partir d'une observation des mouvements curvilignes, parce qu'alors les choses qui se déplacent vraiment ont tendance à s'éloigner du centre de leur mouvement. J'en conviens, les choses se passeraient ainsi, s'il y avait dans la nature des liens ou de la solidité et donc du mouvement circulaire, ce qu'on a l'habitude de concevoir communément. Mais si toutes les choses sont considérées de façon exacte, on constate que les mouvements circulaires ne sont rien d'autre que des compositions de mouvements rectilignes et qu'il n'y a rien d'autre comme liens dans la nature que les lois du mouvement elles-mêmes. Et donc si jamais l'équipollence des hypothèses ne nous est pas évidente, c'est que parfois tous les facteurs ne nous apparaissent pas à cause de l'imperceptibilité des corps ambiants (*corporum ambientium insensibilitatem*), et

> souvent un système de corps semble ne point communiquer avec d'autres, alors que dans la réalité c'est le contraire.
> D'ailleurs, il vaut la peine de rappeler qu'à partir de ce seul principe, que le mouvement de par sa nature est relatif et que par conséquent toutes les hypothèses qui s'accordent une fois produisent toujours les mêmes effets, il aurait été possible de démontrer les autres lois de la nature exposées jusqu'ici[433].

Dans cet important passage, Leibniz rejette l'argumentation de Newton en alléguant que tous les facteurs n'ont pas été inclus et, en particulier, qu'on a omis de tenir compte de la présence de ces corps imperceptibles qu'il a mentionnés à plusieurs reprises dans les propositions précédentes. Dans les faits, ce commentaire de Leibniz constitue une introduction à une explication plus détaillée du mouvement circulaire et de la cohésion qui vise à contrer l'explication newtonienne en lui substituant un modèle différent qui respecte l'équipollence des hypothèses. Cette explication fait l'objet de la proposition suivante.

4.4. Le modèle leibnizien de la cohésion

La démonstration qu'a donnée Leibniz à la proposition précédente (19) de la généralité de l'équipollence des hypothèses s'appuie sur la composition des mouvements rectilignes uniformes en vue de produire un mouvement circulaire ou curviligne. Or, une telle composition ne peut être réduite à une pure équivalence mathématique, elle doit être justifiée et expliquée par un mécanisme physique, puisque l'équipollence des hypothèses est présentée comme une loi de la nature qui décrit comment sont observés les phénomènes de la nature suivant différentes hypothèses. Dans la proposition qui suit, Leibniz propose et tente de justifier un tel mécanisme physique, qui constitue le modèle de la cohésion ou de la solidité de la matière. Compte-tenu du rôle important que joue ce modèle dans l'argumentation en faveur de l'équipollence des hypothèses, il est nécessaire de considérer attentivement les explications de Leibniz.

---

[433] GM, VI, 508.

Proposition 20

La solidité des corps ou la cohésion des parties provient du mouvement ou du *conatus* d'un corps poussé dans une autre direction[434].

Considérons attentivement le début de la démonstration : « En effet, (par la prop. 17) tous les mouvements sont composés entre eux de mouvements rectilignes uniformes. Mais si la solidité des corps n'est rien d'autre qu'une composition de mouvements, la rotation ne sera produite par rien d'autre qu'une composition issue de cette même nécessité qui découle de l'hypothèse de la solidité[435]. » D'entrée de jeu, Leibniz établit un lien étroit entre le modèle de la solidité et la composition des mouvements rectilignes uniformes en vue de produire un mouvement rectiligne. Pour expliquer son modèle, Leibniz prend l'exemple d'une tige rigide LM qui est heurtée à ses extrémités L et M par deux corps A et B se déplaçant dans des sens contraires avec des forces respectives égales.

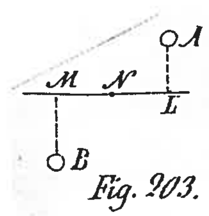


Fig. 18 — *Collision avec une tige rigide*

Source : GM, VI, *Dynamica de potentia,* figure 203.

La tige LM se mettra alors à tourner par rapport au centre N et la matière près des points L et M aura tendance à s'éloigner du centre N. Leibniz affirme que « si cette matière est

[434] *Ibid.*, p. 508.
[435] *Ibid.*, p. 508.

retenue par la seule solidité du corps et non par un mouvement contraire qui est appliqué, alors ce mouvement circulaire ne sera pas constitué d'une composition de mouvements rectilignes, à moins que nous n'expliquions cette solidité par le mouvement d'une pression[436] ». Ce que suggère Leibniz dans ce court extrait et ce que confirme d'ailleurs le reste de son exposé, c'est que seul le mécanisme physique de la pression des corps ambiants permet d'affirmer qu'il y a effectivement une composition de mouvements rectilignes uniformes en vue de produire une mouvement circulaire. À la suite de cet argument, Leibniz ajoute un autre exemple en considérant le phénomène de la rotation sous l'angle de la loi de l'équipollence des hypothèses.

Dans ce second exemple, Leibniz rappelle d'abord qu'en vertu de la nature relative du mouvement, les hypothèses ne peuvent être discernées et par conséquent qu'on ne peut savoir si un corps quelconque est en rotation. Mais, continue Leibniz, en posant la solidité telle qu'elle est conçue traditionnellement, il s'en suit que les rotations ne sont plus produites par la composition des mouvements rectilignes, de sorte qu'il existera une raison pour discerner le mouvement absolu du repos. Pour illustrer son propos, Leibniz ajoute un exemple concret de rotation, soit celui d'un corps ACB qui tourne autour d'un centre C.

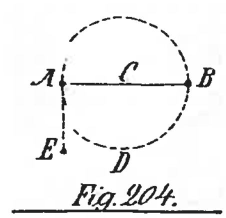


Fig. 19 — Partie d'un corps rigide en rotation qui se détache

Source : GM, VI, *Dynamica de potentia,* figure 204.

[436] *Ibid.*, p. 508-509.

Il imagine alors qu'à un moment donné la solidité du corps en rotation soit dissoute et que la partie A à l'extrémité soit séparée du corps par la rupture du lien qui la reliait à celui-ci. Cette partie A se déplacera alors vers le point E, si le mouvement du corps A est vrai; si ce mouvement était apparent, la partie A restera avec le reste du corps ACB, en dépit de la dissolution du lien qui la reliait à celui-ci. À la suite de quoi, Leibniz conclut :

> Nous aurons ainsi une raison nécessaire pour discerner le mouvement vrai de celui qui est apparent, contre la proposition 19. Cela ne pourra être évité, à moins que la solidité du corps ACB ne provienne d'une pression des corps ambiants. En effet, puisque tous les mouvements sont rectilignes, qu'il n'y a rien d'autre dans la rotation qu'une certaine composition de mouvements rectilignes et puisque dans les mouvements purement rectilignes, en parlant de manière absolue et à partir d'une nécessité géométrique, les hypothèses ne peuvent être discernées les unes des autres (par la prop. 19), il s'en suit qu'elles ne peuvent être discernées non plus dans les rotations[437].

Si l'on interprète correctement Leibniz, on doit admettre que tous les changements dans le mouvement d'un corps sont dus à des rencontres avec d'autres corps, souvent imperceptibles. Par conséquent, si pour expliquer que l'extrémité A du corps en rotation maintient sa trajectoire circulaire ou poursuit son mouvement selon une ligne droite lorsqu'il y a une forme de dissolution du lien qui la retenait à la tige rigide, on fait appel uniquement à des poussées de corps ambiants, on ne pourra conclure d'une telle expérience qu'il y a un mouvement circulaire absolu de la tige et si on le fait, ce sera à tort, puisqu'on n'aura pas inclus tous les éléments qui participent à cette rotation. C'est d'ailleurs en ce sens que s'exprime Leibniz à la toute fin du *Specimen dynamicum* :« Lorsqu'il s'agit de l'équipollence des hypothèses, toutes les choses qui contribuent aux phénomènes doivent être reliées ensemble[438]. » L'objectif poursuivi par Leibniz à travers ces deux exemples est de montrer que le modèle atomique de la cohésion doit être rejeté parce qu'il est en contradiction avec deux énoncés issus de la physique abstraite, soit celui où est affirmé que

---

[437] *Ibid.*, p. 509.
[438] *Ibid.*, p. 254.

tous les mouvements sont composés de mouvements rectilignes uniformes et celui de l'équipollence des hypothèses pour tous les mouvements, ce dernier énoncé étant, comme l'affirme Leibniz lui-même, déduit du précédent. Si Leibniz s'efforce, d'une part, de démontrer les incohérences de ce modèle de la cohésion, il présente, d'autre part, son propre modèle qu'il convient de revoir brièvement, même s'il en a déjà esquissé les grandes lignes dans les propositions précédentes.

Leibniz présente de la façon suivante son propre modèle pour expliquer la rotation d'un corps : « Mais montrons plus distinctement comment une certaine rotation autour d'un centre et la pression des corps sont produits par la seule poussée de *conatus* rectilignes[439]. » L'auteur de la *Dynamica de potentia* présente alors un schéma sur lequel est illustrée la rotation d'un corps décomposée en un certain nombre d'éléments infinitésimaux :

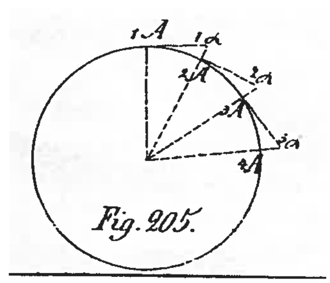


Fig. 20 — *Décomposition d'un mouvement circulaire*

Source : GM, VI, *Dynamica de potentia*, figure 205.

Ainsi le corps A à tendance à se diriger avec une certaine vitesse dans la direction représentée par le segment rectiligne $_{1}A_{1}\alpha$ infiniment petit, pendant ce temps, le *conatus* des corps ambiants pousse constamment le mobile A vers le centre du cercle, de sorte que le mobile conserve toujours la même distance par rapport au centre, (parce qu'autrement le mouvement présent des corps ambiants serait dérangé). Par la suite, Leibniz reprend la

[439] *Ibid.*, p. 509.

même description pour l'intervalle de temps pendant lequel le mobile se déplace du point $_1A$ au point $_2A$. Tous ces intervalles de temps sont considérés comme égaux et les déplacements rectilignes $_1A_1\alpha$, $_2A_2\alpha$ et $_3A_3\alpha$ sont considérés comme infiniment petits et égaux aux arcs de cercle correspondants $_1A_2A$, $_2A_3A$ et $_3A_4A$. Leibniz conclut en résumant ainsi son explication :

> C'est pourquoi à partir d'un mouvement par soi rectiligne et uniforme, auquel s'ajoute un *conatus* orienté vers le centre du cercle, résulte un mouvement circulaire qui est aussi uniforme, ce qui est remarquable et s'accorde avec les expériences. Nous avons donc expliqué la conversion de mouvements rectilignes en circulaires par des compositions de *conatus* rectilignes, ce qui constitue la seule raison qui peut satisfaire à l'équipollence des hypothèses[440].

Par la même occasion, Leibniz insiste sur le fait que son modèle de la cohésion, qui résulte d'une composition de mouvements, diffère radicalement de ceux qui font appel à des liens attractifs entre les parties de la matière : « Il est certain que la cause de la cohésion est expliquée à partir de ce que nous comprenons des corps, comme la grandeur, la figure, le repos ou le mouvement. Mais outre le mouvement, rien de celles-ci ne convient à la chose[441]. » Il explique ensuite que lorsqu'une extrémité d'un corps rigide ABC est heurtée par un autre corps, on observe que la partie du corps qui n'a pas été heurtée se déplace elle aussi avec le reste du corps. Quelle est la raison de cette traction, demande Leibniz. Il affirme que si l'on fait appel à des sortes de crochets ou de fibres entrelacés à l'intérieur de la matière pour expliquer cette traction, on n'a rien résolu, puisqu'on doit expliquer par la suite comment ces crochets ou fibres sont eux-mêmes reliés aux autres parties de la matière. Leibniz continue en fournissant sa propre réponse : « Et en général, nous ne concevons d'autre raison pour laquelle un corps est mu, si ce n'est que deux corps ne peuvent être dans le même lieu, et lorsqu'un corps est en mouvement et que d'autres sont

---

[440] *Ibid.*, p. 510.
[441] *Ibid.*, p. 510.

déplacés, il est nécessaire qu'il se substitue à ceux-ci; par conséquent toute traction doit être réduite à une poussée[442]. » Cette explication de la cohésion qui se présente comme une alternative à la théorie de la cohésion dans laquelle on fait appel à des forces attractives entre les atomes, Leibniz la justifie, dans ce dernier chapitre de la *Dynamica de potentia*, par le même type d'argument qu'il a utilisé pour rejeter l'existence des atomes. En effet, Leibniz résume toute son argumentation de cette proposition 20 qui porte sur la solidité et la cohésion en rappelant qu'il a déjà montré que les atomes doivent être rejetés parce qu'ils contreviennent à la loi de continuité. « Ainsi, conclut-il, en vertu de la loi générale de la nature qui a été posée, suivant laquelle les phénomènes doivent se produire de la même manière, quelle que soit l'hypothèse concernant le sujet du mouvement, nous avons montré que la solidité ne provient que de la composition des mouvements[443]. » Avant de porter un jugement sur cette théorie de la solidité qui peut sembler curieuse à certains égards, il est nécessaire de la considérer dans le contexte d'une réflexion sur ce thème que Leibniz a amorcée dès ses premiers écrits consacrés à la physique et dans le cadre plus large des explications de la solidité de la matière qui remontent aux origines de la philosophie et qui ont pris une ampleur particulière au XVII^e^ siècle.

La thèse de Leibniz sur la solidité et la cohésion exposée dans la *Dynamica de potentia* représente un condensé des opinions qu'il a émises dans le passé sur ce sujet et reflète bien les orientations qu'il a prises très tôt dans sa réflexion en privilégiant le mouvement comme base d'une explication de la solidité. Par ailleurs, l'argumentation qu'il présente ici est nouvelle et offre une occasion intéressante de voir comment il concilie certains éléments de sa physique abstraite avec un problème qui est essentiellement du domaine de la physique

[442] *Ibid.*, p. 511.
[443] *Ibid.*, p. 511.

concrète. Le problème de la cohésion de la matière consiste à trouver une raison pour laquelle les corps solides gardent leur solidité et ne se dissolvent pas lorsqu'ils sont mis en mouvement. Or, suivant une tradition qui remonte à Démocrite, Leucippe, Épicure et Lucrèce, l'explication réside dans des attractions entre les différentes parties de la matière qui sont décrites en faisant appel à des crochets, anneaux ou d'autres sortes de mécanismes qui permettent à ces parties de s'entrelacer entre elles pour maintenir la solidité. Cette explication repose dans la plupart des cas sur l'existence des atomes, qui seraient les plus petites parties de la matière et qui seraient retenus entre eux par les mêmes mécanismes que ceux mentionnés précédemment. Cette tradition s'est incarnée au XVII^{e} siècle à travers les écrits de noms prestigieux tels que Galilée, Gassendi, Huygens et Newton[444]. Or, Leibniz s'oppose très tôt à toute cette tradition comme en témoigne un écrit de 1668, la *Confessio naturae contra atheistas* dans lequel il mentionne les noms de certains des philosophes qui prétendent expliquer la cohésion des parties de la matière par la présence de crochets ou d'hameçons qui retiennent ces parties entre elles. Faisant allusion à ces divers mécanismes, Leibniz y écrit :

> Mais il faut que ces instruments d'implications soient eux-mêmes solides et tenaces pour remplir leur office et maintenir ensemble les parties des corps. Mais d'où leur vient la ténacité? Supposerons-nous à l'infini des crochets (*hamos*) de crochets? Mais la raison qui nous fait douter des premiers se retrouvera aussi dans les seconds, puis dans les troisièmes, et cela sans fin; devant ces difficultés, il n'est resté à nos très pénétrants philosophes d'autre réponse, que de supposer dans l'analyse ultime des corps certains corpuscules insécables, qu'ils appellent atomes, lesquels produisent les diverses qualités des corps sensibles par la variété des combinaisons de leurs diverses figures. Mais dans ces corpuscules ultimes n'apparaît aucune raison de cohésion ni d'insécabilité[445].

---

[444] La position de Newton est quelque peu différente de celle de ses prédécesseurs à cet égard. Celui-ci, tout en admettant l'existence d'atomes durs et impénétrables, considère que la cohésion de la matière est due à des forces d'attraction à distance entre ces atomes, forces qui sont très grandes lorsque ces atomes sont proches les uns des autres. Leibniz est à l'opposé d'une telle conception, puisqu'il nie à la fois l'existence des atomes et celle des forces d'attraction à distance.

[445] GP, IV, 108. trad. Par Christiane Frémont, in *Leibniz Discours de métaphysique et autres textes*, GF Flammarion, Paris, 2001, p. 32 Voir aussi un texte de 1676, *De plenitudine mundi,* tiré du *De summa rerum*

On retrouve dans cet extrait le même argument que Leibniz invoque à la fin de son explication de la proposition 20 du dernier chapitre de la *Dynamica de potentia* afin de rejeter cette théorie corpusculaire de la cohésion. Dans ce texte de 1668, Leibniz ne propose pas encore une alternative à ce type d'explication. Cependant, on observe que peu de temps après, soit dans les années 1669-1672, Leibniz s'est inspiré d'un passage de la *Physique* d'Aristote pour ébaucher sa propre théorie de la cohésion.

Dans son texte, Aristote exprime sont opposition à l'existence des indivisibles et affirme que les choses continues sont celles dont les extrémités sont une, celles qui sont en contact sont celles dont les extrémités sont ensemble[446]. Or, Leibniz en s'appuyant sur cette conception de la continuité[447] affirme que des corps qui sont en contact forment un seul corps et sont en cohésion à cause d'une pression qu'ils exercent l'un sur l'autre. Ainsi, dans la *Theoria motus abstracti*, de 1670, Leibniz écrit dans les *Fundamenta praedemonstrabilia* : « 16) Donc les corps qui se pressent (*se premunt*) ou se poussent sont en cohésion; en effet leurs extrémités sont une, ών τά εσχατα έν, ces corps sont continus ou en cohésion, comme le définit Aristote, parce que s'ils sont dans un même lieu, l'un ne peut y être sans que l'autre soit poussé[448]. » De même, un peu plus loin dans le même texte, Leibniz précise sa conception de la cohésion au théorème 17 : « Deux parties

---

dans lequel Leibniz écrit : « *Ex globulis solis explicari potest connexio corporum, sine ullis hamis, uncisque, qui inepti et a rerum simplicitate et pulcritudine alieni.* » A, VI, 3, 524.

[446] Aristote, *Physique* 231a21

[447] Pour les liens entre la continuité et la cohésion, voir Samuel Levey, « Matter and two concepts of continuity in Leibniz », *Philosophical Studies* 94 : 81-118, 1999 et Richard Arthur, «Cohesion, Division and Harmony : Physical Aspects of Leibniz's Continuum Problem », *Perspectives on Science*, 6.1&2 (1998) 110-135

[448] GM, VI, 69. Dans ses écrits de cette période, Leibniz cite fréquemment ce passage d'Aristote pour défendre sa conception de la continuité et de la cohésion. Voir la lettre à Jacob Thomasius du 20/30 avril 1669, GP, I, 18, la lettre à Hobbes du juillet 1670, GP, VII, 573., la lettre à Antoine Arnaud de novembre 1671, GP, p. 72.

contiguës d'un corps sont en cohésion entre elles si elles se pressent, ou si le mouvement d'un corps est tel qu'une partie pousse l'autre, c'est-à-dire qu'elle lui succède dans l'autre lieu. Ceci est le principe de toute cohésion dans les choses et n'a pas été présenté jusqu'à maintenant[449]. » Parallèlement à cette idée de pression ou de poussée qu'il utilise pour justifier la cohésion, Leibniz y associe étroitement la présence d'un mouvement sans lequel une telle cohésion ne saurait exister. Ainsi le théorème 20 de la *Theoria motus abstracti* affirme qu'« il n'y a pas de cohésion d'un corps au repos.», « *Quiescentis nulla est cohaesio*[450] ». De même, dans la lettre à Hobbes de juillet 1670, Leibniz écrit : « Je croirais que le *conatus* d'une partie vers une autre, ou le mouvement par lequel une partie presse une autre (*premet aliam*) suffirait à expliquer la cohésion des corps[451]. » Par la même occasion, Leibniz poursuit sa réflexion afin d'expliquer comment la pression et le mouvement se conjuguent pour rendre compte de la cohésion. Or, ce modèle de la cohésion, Leibniz le développe vraisemblablement au milieu des années 1680 en faisant appel à la notion de mouvements conspirants et de corps ambiants. C'est ce modèle qui apparaît à l'arrière-plan dans la description de la cohésion qu'il donne dans la dernière section de la *Dynamica de potentia* et auquel il a recours pour expliquer la formation du mouvement circulaire.

À cet égard, l'argumentation de la proposition 20 fait bien ressortir ce dernier point. Leibniz en prenant le cas précis du mouvement circulaire, soutient en premier lieu que ce mouvement ne saurait consister en une composition de mouvements rectilignes uniformes si on n'explique pas la solidité par des pressions quelconques, en second lieu que la loi

---

[449]GM, VI, p. 73.
[450] *Ibid.*, p. 73.
[451] GP, I, p. 15.

universelle de l'équipollence des hypothèses est invalidée si on ne fait pas appel à ce même modèle pour expliquer la rotation. Par la suite, Leibniz tente de démontrer qu'en ayant recours à ce modèle des poussées des corps ambiants, qui sont des mouvements imperceptibles de corps imperceptibles, il est possible d'expliquer comment le mouvement circulaire peut être obtenu de façon mathématique par la composition de mouvements rectilignes uniformes. Or, c'est précisément le recours à ce modèle qui constitue le point faible de toute la démonstration proposée par Leibniz. En effet, plusieurs questions surgissent en ce qui concerne ces corps ambiants et les mouvements conspirants qui les animent. Quelle est l'origine de ces corps? Quelle en est la nature? Pour quelle raison ou par quel mécanisme physique exercent-ils constamment une poussée vers le centre du cercle du corps rigide en rotation? Quel est leur rôle lorsque le corps rigide en question est immobile? À ces questions, Leibniz donne plusieurs éléments de réponses qui n'ont pas su convaincre ses interlocuteurs. Il faut cependant reconnaître que la description que donne Leibniz de la cohésion dans cette proposition 20 ne peut se comprendre qu'à partir des principes de la philosophie mécaniste où tous les phénomènes de la nature sont expliqués par les mouvements, les compositions de mouvements et les collisions entre les corps en mouvement. La force de ce modèle réside dans le fait qu'il est en parfaite harmonie avec d'autres éléments de la physique de Leibniz, comme l'impossibilité de l'existence du vide, de celle des atomes. Ces éléments de sa physique, il a d'ailleurs tenté de les démontrer à partir de certains principes architectoniques tels que le principe de continuité et le principe des indiscernables. Tout ce contexte ainsi que les raisons qui poussent Leibniz à défendre son modèle de la cohésion apparaissent clairement dans la correspondance qu'il a eue avec Hartsoeker de 1706 à 1712. Ainsi, suivant la conception traditionnelle des atomes que résume Hartsoeker, ceux-ci sont considérés comme « des petites masses solides, simples, homogènes, parfaitement dures et sans parties[452] ». Or, pour Leibniz, de tels atomes, en plus de contrevenir à la loi de continuité, rendent inopérant le modèle des collisions qu'il a présenté au début de cette dernière section de la *Dynamica de potentia*, puisque celui-ci est basé sur l'existence d'une forme d'élasticité entre les parties de la matière qui entrent en collision[453]. Dans ces circonstances, il n'est pas étonnant que pour Leibniz, le fait de recourir au modèle des atomes que défend Hartsoeker équivaille à « recourir ou au miracle, ou à une qualité occulte imaginaire[454] ». Hartsoeker, de son côté, considère que « recourir à un mouvement conspirant est un miracle bien plus grand et un miracle continuel[455], qu'en un mot, c'est avoir recours à « des mouvements incompréhensibles et imaginaires[456] ». Au-delà de ce qui peut sembler être un dialogue de sourds entre les deux correspondants, le modèle de la cohésion de Leibniz apparaît comme un maillon essentiel de la philosophie mécaniste à laquelle il souscrit pour expliquer les phénomènes de la nature et qui, à ses yeux, est la seule apte à rendre raison des phénomènes.[457] Cette primauté de la raison pour expliquer la solidité, Leibniz en donne la confirmation à Locke, pour qui la notion de la solidité s'obtient d'abord par les sens. Dans les *Nouveaux essais sur l'entendement humain*, Leibniz affirme par l'intermédiaire de Théophile que « la solidité, en tant qu'elle donne une

---

[452] GP, III, 512.

[453] Ainsi, dans sa dernière lettre à Harsoeker, du 8 février 1712, Leibniz écrit : « Pour refuter la loy de la nature, que j'ay peutétre publié le premier qu'il ne se fait point de passage par saut, vous apportés cette expérience, qu'un corps peut passer en un instant du mouvement au repos dans le choc, quelque rapide que soit ce mouvement [...] et quand vous regarderés la même experience de près, vous trouverés que les corps, quelques durs qu'ils soyent, plient et obéissent dans le choc, et perdant la force du mouvement peu à peu (comme feroit un ballon enflé) qui est transférée dans les parties invisibles productives de l'élasticité, reprennent de même cette force, quand ils reflechissent par celle du ressort qui fait retourner le corps à son premier état. » GP, III, 534.

[454] *Ibid.*, p. 500.

[455] *Ibid.*, p. 502

[456] *Ibid.*, p. 512.

[457] Ainsi, dans sa lettre du 11 février 1711, Leibniz écrit : « Il en est de même de la dureté. Si quelcun avoue que le Mechanisme qui fait le fondement de la dureté luy est inconnu, il a raison ; mais s'il veut que la dureté vienne de quelque autre chose que du mechanisme, et s'il a recours à une dureté primitive, comme font les defenseurs des Atomes, il recourt à une qualité qui est tellement occulte, qu'elle ne sauroit etre rendue claire, c'est à dire, à quelque chose de déraisonnable, et qui peche contre les premiers principes du raisonnement par l'aveu qu'il renferme, qu'il arrive quelque chose de naturel dont il n'y a aucune raison naturelle. » *Ibid.*, p. 519.

notion distincte, se conçoit par la pure raison, quoique les sens fournissent au raisonnement de quoi prouver qu'elle est dans la nature[458] ». Ces propos reflètent bien la pensée de Leibniz à propos de la solidité de la matière, comme le confirment d'ailleurs sa correspondance avec Hartsoeker ainsi que la description qu'il donne de la cohésion dans la *Dynamica de potentia*.

5. Conclusion

Cette dernière section de la *Dynamica de potentia* consacrée au choc des corps constitue une partie importante de la physique de Leibniz et offre une occasion privilégiée d'observer de près la méthode de la science qu'il utilise dans les années de la maturité. Nous n'avons pas relevé tous les aspects de cette méthode, mais nous nous sommes limités à en faire ressortir certains aspects, en particulier celui qui est le plus pertinent pour notre étude, soit le rôle du mouvement libre par soi. Nous avons envisagé cette section du point de vue mécaniste adopté par Leibniz. Dans cette perspective, nous avons pu observer que la poussée des corps les uns sur les autres et la communication des mouvements nécessitent de faire appel à des modèles, comme celui du ressort pour expliquer l'interaction entre les corps. Ce dernier modèle nécessite à son tour un modèle de la constitution de la matière qui puisse expliquer la solidité de la matière et être en même temps compatible avec les propriétés élastiques requises pour décrire correctement les collisions. Un fois posés ces éléments contextuels, il est possible d'observer comment Leibniz analyse dans cette dernière section deux phénomènes physiques importants, soit celui du mouvement d'un agrégat de corps et celui du mouvement circulaire d'un corps rigide. Or, une comparaison

[458] GP, V, 113.

entre les présentations que fait Leibniz de ces deux mouvements permet de constater de grandes similitudes.

Dans les deux cas, Leibniz considère au départ le mouvement d'un corps libre par soi, dont le mouvement rectiligne uniforme est modifié à la suite d'une collision avec un autre corps. De plus, l'auteur affirme qu'il y a conservation de la puissance et de la quantité de progrès à la fois dans les mouvements libres par soi des corps et lors des collisions de ces corps. Ces lois de conservation permettent ainsi de déterminer les modifications des vitesses des corps à la suite de ces collisions. Dans le cas de l'agrégat de corps, Leibniz arrive à un résultat simplifié dans lequel le mouvement résultant est équivalent à celui d'un seul corps se déplaçant en mouvement libre par soi avec la vitesse du centre de gravité de l'ensemble. Dans le cas du mouvement circulaire, Leibniz affirme que, dans la mesure où ce mouvement est réductible à une composition de mouvements rectilignes uniformes, toutes les propriétés de ce dernier mouvement lui sont applicables et, en particulier, la loi de l'équipollence des hypothèses. Enfin, il est possible de mentionner un dernier élément de similitude entre les deux façons de traiter ces phénomènes. En effet, dans la mesure où les lois de conservation et les modèles utilisés par Leibniz sont essentiellement du domaine de la physique abstraite, Leibniz s'efforce de rendre compatibles ces outils avec des phénomènes de la physique concrète.

Dans le cas du mouvement d'un agrégat, il suggère des façons de procéder pour tenir compte du fait que les corps ne sont pas toujours en mouvement libre par soi et qu'ils font des collisions qui ne sont pas parfaitement élastiques. Dans ces cas, il suffira de faire des approximations en se limitant à des parties de mouvements suffisamment libres par soi ou en tentant d'inclure dans la loi de conservation de la puissance absolue la partie qui semble perdue lors de la collision. De ce point de vue, Leibniz laisse entendre que meilleure sera la connaissance des propriétés physiques des corps, meilleure sera la description qui pourra en être donnée à partir des lois de conservation. Dans le cas du mouvement circulaire, Leibniz procède de la même façon en suggérant des dispositifs concrets dans lesquels se produisent des collisions qui permettent d'observer la conversion d'un mouvement rectiligne uniforme en mouvement circulaire. Dans ce cas, comme dans le précédent, les lois de conservation se vérifient assez simplement. En ce qui concerne l'équipollence des hypothèses, Leibniz considère que, même si toutes les hypothèses sont équivalentes d'un point de vue géométrique, il est toujours possible de choisir l'hypothèse la plus simple. Là encore, plus notre connaissance des paramètres physiques qui concernent le mouvement sera complète, plus le choix de l'hypothèse la plus apte sera facile à faire. Par ailleurs, si la description que fait Leibniz du mouvement d'un agrégat de corps est remarquable, puisqu'elle reste encore aujourd'hui toute aussi valide et pertinente qu'elle l'était à son époque, la démonstration de l'équipollence des hypothèses dans le cas général est moins convaincante puisqu'elle s'appuie sur un modèle de la cohésion qui est erroné. Dans ce contexte, il est nécessaire de rappeler les raisons qui expliquent pourquoi Leibniz a défendu avec tant d'énergie un tel modèle. En premier lieu, ce modèle lui est essentiel pour rendre compte de la cohésion de la matière et pour expliquer comment une composition de mouvements rectilignes uniformes peut produire un mouvement circulaire. La seule alternative à ce modèle de la cohésion proposé par Leibniz est le modèle des atomes parfaitement durs et retenus entre eux par des sortes de crochets. Or, ce modèle n'offre pas l'élasticité requise pour permettre la composition d'éléments linéaires infinitésimaux qui s'additionnent pour former le mouvement circulaire. De plus, cette élasticité de la matière qu'offre le modèle de la cohésion que propose Leibniz constitue un élément indispensable de son modèle des collisions, comme nous l'avons vu précédemment. Dans ces circonstances, il est facile de voir que pour Leibniz, renoncer à son modèle de la cohésion, c'est renoncer d'une certaine façon à toute la description qu'il donne du choc des corps. Par ailleurs, il importe d'ajouter que l'échec de ce modèle ne saurait être attribué à un manque de corroboration avec l'expérience, puisque Leibniz cite à quelques reprises des faits expérimentaux pour appuyer son modèle[459]. La raison de cet échec du modèle de la cohésion réside peut-être dans le fait que la nature ne se comporte pas de façon aussi simple que le supposait Leibniz dans ses hypothèses du départ.

---

[459] Ainsi, dans une lettre adressée à Hartsoeker de juillet 1710, Leibniz écrit : « Ce principe de la connexion est visible dans les expériences de l'aimant, où la limaille d'acier, qui est en elle-même comme *arena sine calce*, est liée par le mouvement de la Matiere magnetique. », *ibid*., p. 500. De même, dans le *Specimen inventorum de admirandis naturae generalis arcanis*, écrit vers 1688, Leibniz écrit dans la marge : « *Ex motu quatenus conspirat oriri cohaesionem, duobus experimentis gypsi fusi, quod bullas agit, et limaturae chalybis cui admovetur magnes quae abit in fila Ut nil dicam de vitrificatione, at cur firmitas amjor post refrigerationem cessante motu, an quod afcieculae consentientis redditae ?* », A, VI, 4, C, p. 1618. Voir aussi dans les *Animadversiones in partem generalem principiorum cartesianorum* où Leibiz écrit : « C'est ce que nous montre dans une expérience élégante l'aimant qu'on approche de la limaille de fer : on croirait que de ce sable se forment instantanément des cordes et, des filets, la matière semble se disposer sur des rangs ; et, sans aucun doute, les parties de certains autres corps sont également liées par quelque sorte de magnétisme, c'est-à-dire de mouvement conspirant intérieur. Cette cause primordiale de la consistance ou de la cohésion satisfait donc aussi bien à la raison qu'aux expériences sensibles. », GP, IV,388, traduit par P. Schrecker, *op. cit.*, p. 145.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de cette étude, il est utile de rappeler que nous nous sommes appuyés au départ sur un fait dont on peut mesurer facilement l'ampleur et l'exactitude, à savoir que le principe d'inertie représente une idée nouvelle au XVII^e siècle. De plus, il est possible d'ajouter que cette idée a été acceptée par la plupart des philosophes et savants de ce siècle et qu'elle a joué un rôle important dans la construction de la science. Nous avons choisi de ne pas considérer les conditions d'émergence du principe ou même les circonstances précises de son apparition, non plus d'ailleurs que le rôle qu'ont joué dans cette apparition certains personnages importants du XVII^e siècle, comme Galilée, Gassendi, Baliani ou d'autres. Nous nous sommes intéressés plus particulièrement à l'accueil qu'a réservé Leibniz au principe d'inertie. Dans cette perspective, nous avons jugé utile de présenter au préalable la façon dont le principe a été introduit et utilisé par Descartes et Newton qui sont, dans le domaine de la philosophie de la nature, les philosophes dont l'influence a été la plus déterminante au XVII^e siècle. En procédant ainsi, nous avons considéré qu'il serait plus facile de faire ressortir l'originalité de Leibniz en comparant la façon dont il a intégré le principe dans sa philosophie de la nature avec la façon dont il a été utilisé par Descartes et Newton. Trois éléments ont retenu notre attention, soit la justification que chacun de ces trois philosophes donne du principe, le statut que chacun lui accorde et le rôle que chacun lui fait jouer dans la construction d'une science dont l'objectif est d'expliquer les phénomènes de la nature.

Descartes est sans doute le premier à avoir présenté une justification du principe et à lui avoir attribué un statut officiel dans un texte important consacré à la philosophie de la nature. Le philosophe français invoque l'immuabilité de Dieu et la constance de son action dans l'univers pour justifier ce qu'il nomme les deux premières lois de la nature. En ayant recours à la métaphysique pour justifier l'existence de ses deux premières lois de la nature, Descartes manifeste son intention de leur assurer un caractère de validité qui est indissociable du statut de lois de la nature qu'il leur accorde. Cependant, Descartes donne peu d'information sur les raisons pour lesquelles le mouvement d'un corps qui n'est soumis à aucune force extérieure doit être rectiligne et uniforme. Un peu plus tard, Leibniz, après avoir lu les *Principia philosophiae* de Descartes, acceptera comme vraies les deux premières lois de la nature, mais il fera le reproche à Descartes de ne pas en avoir donné une démonstration formelle. C'est sans doute pour combler cette lacune qu'il en proposera une lui-même dans la *Dynamica de potentia*. Il n'en demeure pas moins que la présentation par Descartes de ces deux lois dans les *Principia philosophiae* marque une rupture radicale avec la physique aristotélicienne et ouvre des perspectives nouvelles pour ceux qui comme Newton s'intéressent plus particulièrement à la philosophie de la nature.

Par ailleurs, en ce qui concerne le statut de lois de la nature que Descartes accorde au mouvement rectiligne uniforme en l'absence de force extérieure, il est le même que celui qu'il accorde aux vérités mathématiques. Cette affirmation s'appuie sur la thèse des vérités éternelles que Descartes énonce dans sa lettre au P. Mersenne du 15 avril 1630 : les vérités mathématiques, qu'il qualifie de vérités éternelles, sont des « lois en la nature ». Selon Fichant, une telle affirmation équivaut à considérer que les lois de la nature et les vérités mathématiques ont le même statut ontologique, de sorte que les objets de la nature et les entités mathématiques peuvent être situés sur le même plan, ce qui permet à Descartes de justifier métaphysiquement le processus de mathématisation des objets de la nature. C'est d'abord en associant la matière à l'étendue que Descartes accorde ce statut ontologique aux objets de la nature, mais il l'attribue aussi au mouvement en s'efforçant d'en préciser la nature à partir de la définition qu'il propose dans les *Principes de la philosophie* et en utilisant le concept mathématique de « quantité » pour le décrire et pour pouvoir ainsi le traiter comme une quantité géométrique. Du statut ontologique accordé aux deux premières lois de la nature découle le rôle qu'il leur assigne. En effet, elles ont comme rôle de rendre possible une géométrisation des mouvements, en particulier celui du mouvement circulaire, ce qui, par le fait même, permet d'effectuer cette mathématisation des phénomènes de la nature que Descartes a déjà amorcée en accordant aux objets de la nature et au mouvement un statut équivalent à celui des vérités mathématiques. De plus, dans la mesure où ces lois décrivent la façon dont la nature doit se comporter, elle ont aussi comme rôle d'expliquer comment un mouvement rectiligne uniforme déjà amorcé peut être modifié par la présence d'un force extérieure, par exemple lors d'une collision ou lorsqu'une fronde permet de maintenir une pierre dans un mouvement circulaire. Il ne fait aucun doute que les deux premières lois de la nature de Descartes et le principe de conservation de la quantité de mouvement totale dans l'univers qui leur est associé ont eu une grande influence sur les penseurs de la deuxième moitié du XVII^e^ siècle, même si ceux-ci en ont parfois modifié considérablement la forme, le rôle et la justification qu'il est possible d'en donner, et même s'ils n'ont pas toujours reconnu à Descartes le mérite qui lui revenait pour avoir proposé ces lois de la nature comme point de départ d'une nouvelle philosophie de la nature.

À cet égard, les travaux de Herivel ont démontré l'influence de Descartes sur les premières formulations du principe d'inertie par Newton et sur l'utilisation qu'il en faisait alors. Cependant, si Newton a adopté dès les premières ébauches de sa physique les deux premières lois de la nature de Descartes et même si, à l'exemple de Descartes, il leur a donné un rôle de premier plan, il n'a pas suivi ce dernier dans la justification métaphysique qu'il en proposait. On observe ainsi chez le jeune Newton une orientation épistémologique différente de celle de Descartes qui se confirmera plus tard dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Dans ce livre, Newton affirme que son projet est d'observer les mouvements de la nature pour en déduire les forces et par la suite d'utiliser celles-ci pour déterminer d'autres mouvements. Ainsi, le principe d'inertie ne découle pas chez Newton de la toute puissance divine, mais résulte des mouvements observés dans la nature. De la même façon, les deux premières lois de la nature, qui étaient présentées par Descartes comme causes secondes et particulières des divers mouvements, deviennent chez Newton le premier axiome ou première loi du mouvement d'un traité qu'il qualifie lui-même de mathématique et dans lequel il prétend ne point s'intéresser aux causes des forces, mais plutôt à leurs propriétés mathématiques. Ces forces peuvent être considérées comme des causes des mouvements, mais des causes de nature mathématique seulement qui, à ce titre, expliquent comment le mouvement rectiligne uniforme d'un corps peut être modifié. Le mouvement que décrit le premier axiome apparaît alors comme un état idéal qui peut être modifié lorsqu'un corps est soumis à diverses forces extérieures.

Par ailleurs, il importe de souligner que Newton, en lecteur attentif de Descartes, a très bien perçu l'incompatibilité entre la définition relativiste du mouvement qu'adoptait ce dernier et les deux premières lois de la nature qu'il énonçait dans les *Principes de la philosophie*. En effet, un mouvement qui semble rectiligne et uniforme pour un observateur peut très bien apparaître comme curviligne pour un autre observateur en mouvement relatif par rapport au premier. Pour résoudre cette difficulté, Newton, tout en admettant l'existence de mouvements relatifs, soutient l'existence d'un espace absolu par rapport auquel il est possible de déterminer si un mouvement est rectiligne et uniforme, de telle sorte que la première loi du mouvement conserve son caractère de validité pour tous les référentiels. Plusieurs philosophes et savants ont tenté, à la suite de Newton, de préciser la nature de ce référentiel absolu par rapport auquel il serait possible de décrire les mouvements. Leibniz, à l'opposé de ceux-ci, a opté très tôt pour une conception purement relativiste de l'espace et des mouvements. Ce fait constitue déjà un motif suffisant pour explorer la conception leibnizienne du mouvement et celle du principe d'inertie qui lui est étroitement associée. D'autres motifs s'y ajoutent, parmi lesquels il convient de mentionner la méthode de la science de Leibniz qui est très différente de celle de Newton. Avant de scruter de près cette méthode à travers l'utilisation que Leibniz fait du principe d'inertie, nous avons jugé important de considérer d'abord les objections des commentateurs qui ont considéré que Leibniz avait une perception confuse de ce principe.

Dans ce but, nous avons précisé, dans un premier chapitre consacré à Leibniz, la différence qu'il convient de faire entre la notion d'inertie naturelle empruntée de Kepler et le principe d'inertie en tant que tel. Cette précision est nécessaire pour avoir une bonne compréhension de certains éléments du projet leibnizien dans le domaine de la philosophie de la nature et pour éviter une certaine confusion qu'apporte une lecture trop rapide des textes de Leibniz. Au plan de la physique cette notion d'inertie naturelle se résume à peu de choses. Leibniz l'utilise pour décrire le fait qu'un corps en mouvement ne saurait entrer en collision avec un autre corps au repos sans que sa vitesse ne diminue ou pour décrire le fait que si deux corps ont subi la même force (ou ont la même force), le plus grand se déplacera avec une vitesse plus grande que le plus petit et vice versa. Or, ces deux faits observés dans la nature ne sont aucunement en contradiction avec le principe d'inertie ni même avec des éléments de la physique newtonienne. Si Leibniz s'en était tenu à cette description, il est probable que peu de commentateurs lui auraient fait le reproche de confondre l'inertie naturelle et le principe d'inertie. Le problème origine du fait que Leibniz a cherché à donner des raisons de l'inertie naturelle observée dans la nature en faisant intervenir des éléments métaphysiques portant sur la nature de la substance. Ces éléments, Leibniz les décrit en mentionnant d'une part l'existence dans la matière d'une force passive, ou de résistance au mouvement, et, d'autre part, l'existence d'une force active ou entéléchie, de sorte que les deux se conjuguent pour assurer la persévérance d'un mouvement rectiligne uniforme en l'absence d'une force extérieure. Or, pour les interlocuteurs de Leibniz comme De Volder et Papin, entre autres, ainsi que pour certains lecteurs actuels de Leibniz, il est difficile de concilier ces éléments métaphysiques de la substance et la physique de la substance que propose Leibniz. Même si ces critiques sont partiellement fondées, il importe de rappeler qu'elles n'invalident pas le projet de Leibniz dans le domaine de la physique, puisque, de l'aveu même de Leibniz, il n'est pas nécessaire de considérer les éléments métaphysiques lorsqu'on étudie les phénomènes de la nature; ces éléments peuvent cependant, selon Leibniz, être utiles pour bien philosopher, c'est-à-dire, pour déterminer les raisons ultimes des mouvements des corps. Si les raisons invoquées par Leibniz pour expliquer cette notion d'inertie naturelle sont à certains égards problématiques, celles qu'il a données pour justifier ou démontrer le principe d'inertie le sont certainement moins et offrent une illustration intéressante de la façon dont Leibniz a pu s'inspirer de principes métaphysiques dans la construction d'outils utiles pour l'élaboration de sa dynamique.

On constate, de ce point de vue, que Leibniz a constamment cherché à justifier le principe d'inertie à partir du principe de raison suffisante. Dans les premiers écrits des années 1670 consacrées à la physique, Leibniz présente une démonstration inspirée de Hobbes pour affirmer qu'un mouvement est rectiligne et uniforme lorsqu'on ne trouve aucune raison de modifier l'une de ces deux propriétés de ce mouvement. Quelques années plus tard, Leibniz utilise plutôt le principe de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier pour justifier le fait qu'un corps en mouvement rectiligne uniforme a une raison suffisante de persévérer dans ce mouvement si aucune cause extérieure n'intervient. Enfin, dans la *Dynamica de potentia,* Leibniz en s'inspirant des principes architectoniques de la convenance, de la continuité et de la simplicité, propose une démonstration des propriétés du mouvement qu'il appelle simplement simple. Par la suite, il présente sa propre version du principe d'inertie en affirmant qu'un corps par soi demeure tel qu'il est s'il n'y a pas de cause de changement. Or, un corps en mouvement demeure tel qu'il est lorsque ses parties ont entre elles le maximum de convenance au cours du temps et, par conséquent c'est un corps qui se déplace avec les propriétés du mouvement le plus simple, dont celles d'être rectiligne et uniforme. Dans cette démonstration de Leibniz apparaissent des différences notables avec la façon dont le principe est introduit et justifié par Descartes et Newton. La plus importante de celles-ci sans doute se manifeste par l'effort déployé par Leibniz pour démontrer les propriétés géométriques du mouvement simplement simple en utilisant le principe de convenance et les outils de la géométrie euclidienne. On doit convenir que la démonstration présentée par Leibniz n'est pas à strictement parler une démonstration mathématique, mais on doit admettre aussi qu'elle constitue une tentative fort convaincante de rendre intelligibles les propriétés géométriques du principe d'inertie et par le fait même de justifier les fondements mêmes sur lesquels est construite la science de la dynamique.

Par ailleurs, la façon dont Leibniz présente le principe d'inertie permet d'observer le statut dont il jouit dans sa dynamique.

On constate ainsi que le mouvement libre par soi n'est pas présenté comme une loi première de la nature, comme chez Descartes et dans une certaine mesure chez Newton. Il n'a pas non plus le statut d'axiome mathématique comme c'est le cas dans les deux premières parties des *Philosophiae naturalis principia mathematica* de Newton. La façon dont Leibniz l'utilise dans la *Dynamica de potentia,* après en avoir démontré les propriétés, indique qu'il a plutôt le statut d'une abstraction — au sens littéral d'*ab-straction* — puisque Leibniz isole du domaine des phénomènes sensibles un mouvement libre de toutes les contingences que sont le frottement, la gravité et la présence d'un obstacle quelconque. Un tel mouvement représente certes une forme idéale qui ne se rencontre pas telle quelle dans l'ordre des phénomènes, mais il est possible d'observer des mouvements qui s'en approchent suffisamment pour un certain temps, comme le laisse entendre Leibniz dans la *Dynamica de potentia*. Dans ce texte important, le statut de mouvement libre par soi se révèle surtout à l'intérieur du rôle que Leibniz lui fait jouer à la fois dans la démonstration des principes de conservation présentés et dans l'utilisation de ces mêmes principes pour décrire les phénomènes de la nature comme celui des collisions.

C'est à la section trois de la première partie de la *Dynamica de potentia*, consacrée à l'action et à la puissance, que Leibniz construit les concepts les plus importants de sa dynamique. Or, dès le début du chapitre 1 de cette même section qui porte sur l'effet et l'action formels, Leibniz affirme que le qualificatif de formel, qu'il a appliqué autant à l'effet qu'à l'action, fait référence à ce qui est essentiel au mouvement, « *motui est* *essentialis* ». Dans cette perspective, il n'est pas étonnant de constater que Leibniz a choisi de construire ces concepts à partir du concept de mouvement simple, c'est-à-dire de ce qui constitue l'essence du mouvement dans la mesure où sont enlevés les obstacles de toute nature, la gravité et la résistance du milieu. Ce choix opéré par Leibniz ne constitue pas une condition nécessaire pour construire ces concepts, mais il obéit plutôt à des impératifs de simplicité, voire de commodité. Bien que Leibniz ne mentionne pas explicitement dans cette section qu'il considère au départ le mouvement simplement simple – il se contente d'affirmer que le mouvement doit être uniforme – on peut supposer que dans les faits, c'est de ce mouvement dont il s'agit. En effet, suivant la démonstration qu'il en a donnée à la section précédente, un mouvement libéré de tous les obstacles et qui n'est pas soumis à la gravité doit être rectiligne et uniforme. De plus, toutes les figures utilisées pour les propositions de cette section qui porte sur l'action et la puissance illustrent des mouvements rectilignes. À cela s'ajoute le fait qu'à la toute fin de la section Leibniz affirme que les corps considérés étaient dans le milieu le plus libre (*in medio liberrimo*) et que la gravité était négligée, comme lorsque les corps sont dans un mouvement horizontal. Après avoir démontré un ensemble de propositions qui concernent l'action et la puissance, Leibniz, dans la dernière remarque de cette section, affirme que ces propositions peuvent s'appliquer à d'autres mouvements. On observe ainsi un aspect important de la méthodologie de Leibniz qui est de construire *a priori* les concepts de la dynamique à partir du mouvement le plus simple, abstrait du réel sensible, et de généraliser ensuite l'utilisation de ces concepts à l'ensemble des phénomènes de la nature où des mouvements complexes peuvent exister. Ces aspect de la méthode de Leibniz où apparaît le rôle du mouvement libre par soi se retrouve d'ailleurs dans la dernière section de la *Dynamica de potentia* consacrée au choc des corps.

En effet, dans cette importante section, Leibniz considère au départ le mouvement de corps en mouvement libre par soi pour lesquels il a déjà démontré qu'il y a conservation de la puissance absolue dans les sections précédentes de la *Dynamica de potentia.* Il analyse alors le phénomène de collisions parfaitement élastiques de ces corps en mouvement simplement simple et démontre qu'il y a là aussi conservation de la puissance absolue en s'appuyant sur le modèle élastique des collisions et sur le principe de l'équivalence de la cause pleine et de l'effet entier. Par la suite, Leibniz généralise ce résultat en considérant les collisions et les mouvements libres par soi des corps qui forment un agrégat. Il développe alors les outils pour décrire de façon simple le mouvement de cet agrégat, même dans les cas où les collisions de ces corps ne sont pas parfaitement élastiques, ce sont les équations de la conservation de la quantité de progrès et celle de la conservation de la vitesse du centre de gravité. On observe ainsi dans la stratégie adoptée par Leibniz une construction qui va du simple au complexe et du particulier au général, c'est-à-dire du mouvement d'un corps en mouvement libre au mouvement complexe d'un agrégat de tels corps.

Cette stratégie s'observe aussi dans le deuxième phénomène physique présenté par Leibniz dans cette section. Dans ce deuxième cas, Leibniz construit à partir d'une composition de mouvements rectilignes uniformes des mouvements plus complexes comme le mouvement circulaire. Là encore, Leibniz tente de démontrer qu'il y a conservation de la puissance absolue et de la quantité de progrès et il présente une démonstration de l'équipollence des hypothèses pour le cas général. Ces deux exemples d'explication de phénomènes physiques que donne Leibniz dans cette dernière section de la *Dynamica de* *potentia* illustrent assez bien, nous semble-t-il, une partie de ce que Duchesneau appelle « la stratégie des hypothèses» dans *Leibniz et la méthode de la science*. En effet, Leibniz adopte au départ l'hypothèse mécaniste suivant laquelle les phénomènes de la nature sont expliqués à partir des mouvements des corps et des changements de mouvements lors de collisions avec d'autres corps. Il considère ensuite le mouvement le plus simple d'un corps et construit ensuite des mouvements complexes en ajoutant d'autres corps animés de mouvements semblables et en ayant recours au modèle élastique pour expliquer le mécanisme de la collision ainsi qu'au principe de conservation de la puissance absolue qu'il a déjà démontré *a priori* dans les parties précédentes de la *Dynamica de potentia*. Par la suite, Leibniz explique comment corroborer ces résultats en ayant recours a des montages expérimentaux très précis dans lesquels peuvent être observés les mouvements et les collisions décrits. Il ne fait aucun doute que dans le cas d'un agrégat de corps en mouvement, la description donnée par Leibniz est remarquable tant par sa justesse que par sa limpidité. En ce qui concerne le mouvement circulaire et la loi de l'équipollence des hypothèses, on doit reconnaître que le recours au modèle de la cohésion constitue le point faible de la démonstration. Cependant, la loi elle-même que prétend démontrer Leibniz n'est pas invalidée pour autant. De plus, les commentaires que donne l'auteur de la *Dynamica de potentia* à la suite de cette proposition qui porte sur l'équipollence des hypothèses sont très utiles, puisqu'ils permettent d'observer comment il concilie le statut du principe d'inertie avec la relativité des mouvements. Mentionnons d'abord que, dans la mesure où le mouvement libre par soi d'un corps est une abstraction, il ne saurait faire l'objet d'aucune observation et il ne peut entrer en contradiction avec le principe de relativité des mouvements. Par ailleurs, ce qui est observable est ce que Leibniz appelle le mouvement suffisamment libre par soi, c'est-à-dire celui d'un corps qui est soumis à peu de contraintes extérieures. De ce point de vue, si l'on interprète correctement les propos de Leibniz, rien ne permet à partir de la seule observation des mouvements d'affirmer qu'un mouvement est réellement rectiligne et uniforme, puisqu'un mouvement qui semble tel pour un observateur pourra sembler différent pour un autre. La seule règle qu'il suggère est de choisir l'hypothèse la plus apte, c'est-à-dire celle qui peut expliquer les phénomènes de la façon la plus simple. Ainsi, comme le mentionne Leibniz à la proposition 16 (chap. 2, section II, partie I), lorsqu'un corps ne semble soumis à aucun influence extérieure, l'hypothèse qui devrait être choisie est celle suivant laquelle le corps est en mouvement rectiligne uniforme, parce que c'est le mouvement d'un corps libre par soi. En d'autres mots, meilleure sera la connaissance des corps en mouvement et des propriétés physiques de ces corps, meilleur sera le choix de l'hypothèse la plus apte.

Nous avons tenté à travers cette étude de mettre en relief certains aspects de la méthode leibnizienne dont le plus important est sans doute le fait de rendre intelligible les phénomènes de la nature en cherchant les raisons non seulement de ces phénomènes, mais aussi des principes explicatifs de ceux-ci et des modèles utilisés pour en faire la description. S'il est permis de parler d'une épistémologie leibnizienne, c'est sans doute par cet aspect qu'elle se révèle d'abord et qu'elle se différencie de l'épistémologie newtonienne. Dans cette perspective, nous avons tenté de montrer que dans la *Dynamica de potentia* Leibniz utilise une méthode que l'on peut qualifier de synthétique *a priori* afin de déduire les propositions et les principes de la dynamique et afin de reconstruire, d'une façon abstraite, les phénomènes de la nature pour mieux en décrire le fonctionnement. Dans ce processus de construction *a priori*, le mouvement libre par soi représente l'élément de base, l'objet le plus simple dans la mesure où il constitue l'essence du mouvement, à partir duquel Leibniz démontre *more geometrico* un ensemble de propositions aptes à expliquer les phénomènes de la nature. En ce domaine, Leibniz se démarque nettement de Descartes et de Newton.

Notre étude, est-il besoin de le souligner, ne prétend pas être exhaustive, nous avons laissé de côté plusieurs chapitres de la *Dynamica de potentia* et nous en avons privilégié d'autres en choisissant comme fil conducteur le principe d'inertie. Ce texte de Leibniz, au même titre que les *Principia philosophiae* de Descartes et les *Philosophiae naturalis principia mathematica* de Newton, constitue un des textes majeurs en philosophie de la nature au XVII^{e} siècle. À la différence des textes de Descartes et de Newton qui sont dans les faits des traités où sont expliqués plusieurs phénomènes de la nature, la *Dynamica de potentia* est un texte où sont présentés une méthode et des outils conceptuels qui peuvent être utilisés pour poursuivre l'explication de ces phénomènes. Dans cette perspective, le texte de Leibniz constitue plutôt un traité de méthodologie qu'un traité de physique et, à ce titre, il traduit un projet ambitieux et exigeant. Par les questions épistémologiques qu'il soulève et par les idées nouvelles dont il est porteur, il doit être considéré comme un texte fondamental en philosophie de la nature.

BIBLIOGRAPHIE

1. Œuvres de Leibniz

G. W. Leibniz, Sämtliche Schriften und Briefe, hrsg. von der Akademie der Wissenschften, Darmstadt(-Berlin), Akademie-Verlag, 1923-...(abrév.: A)

G. W. Leibniz, Mathematische Schriften, hrsg. von C. J. Gerhardt, (1849-1863), Hildesheim, G. Olms, 1971, 7 vol. (abrév.: GM)

Die philosophischen Schriften von G. W. Leibniz, hrsg. von C. J. Gerhardt, (1875-1890), Hildesheim, G. Olms, 1965, 7 vol. (abrév.: GP)

Nouvelles lettres et opuscules inédits de Leibniz, par A. Foucher de Careil, (1857), Hildesheim, G. Olms, 1971.

Opuscules et fragments inédits de Leibniz, par Louis Couturat, (1903), Hildesheim, G. Olms, 1988.

G. W. Leibniz, Opuscules philosophiques choisis, traduits du latin par Paul Schrecker, Paris, Vrin, 1966.

G. W. Leibniz, De arcanis motus et mechanica ad puram geometriam reducenda, transcrit par Heinz-Jürgen Hess, in : *Leibniz à Paris (1672-1676), Studia Leibnitiana, Supplementa 17,* F. Steiner, 1978, p. 202-205.

G. W. Leibniz, De corporum concursu, édité et annoté par Michel Fichant, Paris, Vrin, 1994.

G. W. Leibniz, Essay de dynamique, édité et annoté par Pierre Costabel dans *Leibniz et la dynamique de 1692. Textes et commentaires*, Paris, Vrin 1989.

G. W. Leibniz, *La caractéristique géométrique,* texte établi, introduit et annoté par Javier Echeverria, traduit, annoté et postfacé par Marc Parmentier, Paris, Librairie Philosophique J. Vin, 1995.

G. W. Leibniz, Phoranomus seu De potentia et legibus naturae, Rome, juillet 1689, édité et annoté par A. Robinet, I, in : *Physis,* 38 (1991), p. 429-541 ; II, in : *Physis*, 38 (1991), p. 797-885.

G. W. Leibniz. Système nouveau de la nature et de la communication des substances, édité et annoté par Christiane Frémont, Paris, GF Flammarion, 1994

G. W. Leibniz, *Principes de la nature et de la grâce. Monadologie et autres textes. 1703-1716*, édité et annoté avec traduction de plusieurs textes par Christiane Frémont, Paris, GF-Flammarion, 1996.

G. W. Leibniz. Discours de métaphysique et autres textes, édité et annoté par Christiane Frémont, Paris, GF Flammarion, 2001.

Leibniz. Discours de métaphysique suivi de la monadologie, commentaire de Laurent Bouquiaux, Paris, Gallimard, 1995.

2. Bibliographie générale

Aristote, *Physique,* texte établi et traduit par Henri Carteron dans *Aristote. Physique* (I-IV) Tome I, Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1926, 169 p.

Physique, texte établi et traduit par Henri Carteron dans *Aristote. Physique* (V-VIII) Tome II, Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1926, 188 p.

Arthur, Richard, «Cohesion, Division and Harmony : Physical Aspects of Leibniz's Continuum Problem », *Perspectives on Science*, 6.1&2 (1998) 110-135

Bailly, Jean-Sylvain, *Histoire de l'astronomie,* Paris, DeBure, 1785

Barbour, Julian B., *Absolute or Relative Motion ? A study from a Machian point of view of the discovery and the structure of dynamical theories. Volume 1 The Discovery of Dynamics*., Cambridge, Cambridge University Press, 1989, 746 p.

Bernstein, H. R., « Passivity and Inertia in Leibniz's Dynamics », *Studia Leibnitiana*, Band XIII/1, 1981, p. 97-113

Bertoloni Meli, Domenico, *Equivalence and Priority: Newton versus Leibniz,* Oxford, Clarendon Press, 1993, 318 p.

Blackwell, Richard J., « Descartes' Laws of Motion », *Isis* 57, p. 220-234

Brackenridge, J. B., *The Key ot Newton's Dynamics*, Berkeley and Los Angeles, University of California Press, 1995, 299 p.

Carraud, Vincent, *Causa sive ratio. La raison de la cause de Suarez à Leibniz*, Paris, PUF, 2002, 573 p.

Clarke, Desmond, *Descartes' Philosophy of Science*, Manchester, Manchester University Press, 1982, 249 p.

Clavelin, Maurice, *La philosophie naturelle de Galilée*, Paris, Armand Colin, 1968, 504 p.

Cohen, I. Bernard, « Newton and Keplerian Inertia : an Echo of Newton's Controversy with Leibniz », dans *Science, Medicine and Society in the Renaissance*, New York, ed. A. Debus, New York, Neale Watson Publications, 1972, p. 199-211.

« 'Quantum in se est' : Newton's Concept of Inertia in Relation to Descartes and Lucretius. », *Notes and Records of the Royal Society* 19 (1964):p. 131-155.

The Newtonian Revolution, Cambridge, Cambridge University Press, 1980, 404 p.

Commentarii Collegii Societatis Jesu, *In octo libros Physicorum Aristotelis*, reprod. de l'éd. de 1594, Hildesheim, Georg Olms Verlag, 1984

Costabel, Pierre, *Démarches originales de Descartes savant*, Paris, Vrin, 1982, 197 p.

La dynamique de 1692. Textes et commentaires, Paris, Vrin, 1989, 146 p.

Couturat, Louis, *La logique de Leibniz,* Hildesheim, Georg Olms Verlagsbuchhandlung, 1961, 608 p.

D'Alembert, Jean, *Traité de dynamique*, Paris, Chez David l'aîné, 1743, 186 p.

De Buzon, Frédéric et **Carraud**, Vincent, *Descartes et les « Principia » II. Corps et mouvement.*, Paris, Puf, 1994, 126 p.

Descartes, René, *Œuvres de Descartes*, éd. Par C. Adam et P. Tannery, nouvelle présentation par B. Rochot et P. Costabel, Paris, Vrin, 1964-1974.

Œuvres philosophiques, textes établis, présentés et annotés par Ferdinand Alquié, Paris, Garnier Frères, 1973,

Des Chene, Dennis, *Physiologia : natural philosophy in late Aristotelian and Cartesian thought*, Ithaca, Cornell University Press, 1996, 426 p.

Duchesneau, François, *Leibniz et la méthode de sa science*, Paris, Presses universitaires de France, 1993, 413 p.

La dynamique de Leibniz, Paris, Vrin, 1994, 368 p.

« Leibniz's Theoretical Shift in the Phoranomus and Dynamica de potentia » *Perspectives on Science* 6.1&2 (1998) p. 77-109.

Dugas, René, *La mécanique au XVII*e siècle : (des antécédents scolastiques à la pensée classique, Neuchatel, Éditions du Griffon, 1954, 620 p.

Duhem, Pierre, *Études sur Leonard de Vinci, ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu,* Paris, Librairie Scientifique Hermann et Fils, 1909, 3 vol.

Le système du monde, Paris, Hermann, 1956, 10 vol.

Earman, John, *World Enough and Space-Time : Absolute vs. Relational theories of Space and Time*, Cambridge, MIT Press, 1989, 233 p.

Fichant, Michel, *La réforme de la dynamique. De corporum concursu (1678) et autres textes inédits,* Paris, Vrin, 1994 M. Fichant, *La réforme de la dynamique*, Paris, Vrin, 1994, 444 p.

« "La réforme" leibnizienne de la dynamique d'après des textes inédits », *Akten des II. Int. LeibnizKongresses 1972*, *Studia Leibnitiana Supplementa*, vol. XIII (1974) p. 195-214.

Science et métaphysique dans Descartes et Leibniz, Paris, Presses universitaires de France, 1998, 412 p.

Gabbey, A., « *Force and Inertia in the Seventeenth Century : Descartes and Newton* » dans *Descartes. Philosophy, Mathematics and Physics*, Ed. Stephen Gaukroger, Sussex, Harvester Press, 1980, 329 p.

Galilei, Galileo, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde,* traduit par René Fréreux avec le concours de François De Gandt, Paris, Éditions du Seuil, 1992, 444 p.

Garber, Daniel, *Descartes' Metaphysical Physics*, Chicago, The University of Chicago Press, 1992, 389 p.

Grant, Edward, « *Motion in the Void and the Principle of Inertia in the Middle ages* », *ISIS*, 1964, Vol. 55, 3, No. 181

Grosholz, E, *Cartesian Method and the Problem of Reduction*, Oxford, Oxford University Press, 1991, 161 p.

Gueroult, Martial, « La métaphysique de la force chez Descartes et Malebranche », *Revue de métaphysique et de morale,* 59 ; 1 et 2, 1954.

Leibniz. Dynamique et métaphysique, suivi d'une note sur le principe de la moindre action chez Maupertuis, Paris, Aubier-Montaigne, 1967, 248 p.

Guicciardini, I., *Reading the Principia. The Debate on Newton's Mathematical Methods for Natural Philosophy from 1687 to 1736,* Cambridge, Cambridge University Press, 1999, 285 p.

Hannequin, A., *Études d'histoire des sciences et d'histoire de la philosophie,* Paris, F. Alcan, 1908, 2 vol.

Herivel, John, *The Background to Newton's Principia*, Oxford, Clarendon Press, 1965, 337 p.

« Newton's Discovery of the Law of Centrifugal Force », *Isis*, Volume 51, 4 (Dec., 1960)

Hobbes, Thomas, *De Corpore*, Édition critique, notes, appendices et index par Karl Schumann, introduction par Karl Schumann avec la collaboration de Martine Pécharman, Paris, Vrin, 1999., 417 p.

Huygens, Christiaan, *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens*, reproduction num. de l'ed.publ. par la Société hollandaise des sciences, La Haye, M. Nijhoff, 1888-1950., Notice nº FRBNF 38949978

Kant, Emmanuel, *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, Paris, Librairie philosophique J. Vrin, 1990, 165 p.

Kepler, Johannes, *Joannis Kepleri, astronomi Opera omnia*, éditeur scientifique Christian Frisch, 1995, Publication Num. BNF de l'édition de Frankofurti:Heyder; Erlangae: Simmer, 1858, Notice n° : FRBNF37277548

Koyré, Alexandre, A. Koyré, *Études newtoniennes*, Paris, Gallimard, 1968, 353 p.

Études galiléennes, Paris, Hermann, 1966, 3 v.

Levey, Samuel, « Matter and two concepts of continuity in Leibniz », *Philosophical Studies* 94 : 81-118

McGuire, J. E., « Natural motion and Its Causes : Newton on the "Vis Insita" of Bodies », in *Self-Motion from Aristotle to Newton*, ed. par Mary Louise Gill et James G. Lennox, Princeton, Princeton University Press, 1994, p. 305-329.

More, Henry, *An Antidote do Atheism*, dans *A collection of several philosophical writings of Dr. Henry More*, Reproduction Num. BNF de l'éd. de London; Cambridge : W. Morden, 1662, Notice nº: FRBNF 37299180

Mouy, Paul, *Le développement de la physique cartésienne : 1646-1712*, Paris, Vrin, 1934, 343 p.

Newton, Isaac, *Isaac Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 3e éd., éditée par A. Koyré et I. B. Cohen, avec l'aide de A. Whitman, Cambridge, Angleterre et Mass., Harvard University Press, 1972, 916 p.

Philosophiae naturalis principia mathematica, Londres, S. Pepys, 1686

De philosophiae naturalis principia mathematica, traduction nouvelle, postface et bibliographie établies par Marie-Françoise Biarnais, Paris, Christian Bourgois éditeur, 1985, 376 p.

Philosophiae naturalis principia mathematica, 3ième édition, traduit par Andrew Motte en 1729, revisé par Florian Cajori, Berkeley, University of California Press, 1960

De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum, traduit du latin par Marie-Françoise Biarnais, dans Isaac Newton, *De la gravitation*, Paris, Gallimard, 1995, 261 p.

Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton, Ed. A. Rupert Hall and Marie Boas Hall, Cambridge, Cambridge University Press, 1962.

Perrault, Claude, *Essais de physique ou Recueil de plusieurs traitez touchant les choses naturelles,* Reproduction num. BNF de l'éd. de Paris, J.-B. Coignard, 1680, Notice n° FRBHF37296613

Ranea, Alberto Guillermo, « The *a priori* Method and the *actio* Concept Revised, *Studia Leibnitiana*, Band XXI/1 (1989), p. 42-62.

Serres, Michel, *Le système de Leibniz et ses modèles mathématiques,* 2 tomes, Paris, PUF, 1968

Shea, William R., *The magic of numbers and motion : the scientific career of René Descartes,* Canton, Science History Publications, 1991, 371 p.

Sylla, E, « Compounding Ratios », dans E. Mendelsohn, *Transformation and Tradition in the Sciences*, Cambridge, Cambridge Universiy Press, 1984, p. 11-43

Slowik, Edward, « Descartes, Spacetime and Natural Motion », *Philosophy or Science,* 66 (Mars 1999), p. 117-139

Thomas d'Aquin, *Somme théologique,* trad. Ch.-V. Héris, ,Paris, Desclée & Cie, 1959.

Somme théologique, trad. M.-J. Laversin, Paris, Desclée & Cie, 1935.

Vailati, Ezio, *Leibniz & Clarke. A Study of Their Correspondence*, New York, Oxford University Press, 1997, 250 p.

Von Prantl, Carl, « Galilei und Kepler als Logiker », *Sitzungsberichte der philosophisch-philogischen und historischen Classe des k. b. Akademie des Wissenschaften zu München,* II, NO. 4 (1875)

Westfall, Richard S., *Force in Newton's Physics. The Science of Dynamics in the Seventeenth Century*, New York, American Elsevier, 1971, 579 p.

Westman, Robert S., « Huygens and the problem of Cartesianism », dans *Studies on Christian Huygens*, Ed. H. J. M. Bos, Lisse, Swets & Zeitlinger B. V., p. 83-103.