



HAL
open science

**LA PHILOSOPHIE NATURELLE DE
MALEBRANCHE AU XVIII^e SIECLE Inertie,
causalité, petits tourbillons**

Christophe Schmit

► **To cite this version:**

Christophe Schmit. LA PHILOSOPHIE NATURELLE DE MALEBRANCHE AU XVIII^e SIECLE Inertie, causalité, petits tourbillons. Classiques Garnier, Collection Histoire et philosophie des sciences (21), 2020, Bernard Joly-Vincent Jullien, 978-2-406-08733-5. hal-02881533

HAL Id: hal-02881533

<https://hal.science/hal-02881533>

Submitted on 25 Jun 2020

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

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

Christophe Schmit

LA PHILOSOPHIE NATURELLE DE
MALEBRANCHE AU XVIII^e SIECLE

Inertie, causalité, petits tourbillons

À Bénédicte.

ABREVIATIONS

Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 39 : René Descartes, *Principes de la philosophie*, dans *Œuvres de Descartes*, éd. Charles Adam et Paul Tannery, 11 vol., Paris, Vrin, 1996, vol. IX, Partie II, Article 39.

Malebranche, RDV, VI, I, I : Nicolas Malebranche, *De la recherche de la vérité*, dans *Œuvres complètes*, éd. André Robinet, 20 vol., Paris, Vrin, 1958-1970, tome II, Livre VI, Première partie, Chapitre I.

Malebranche, OCM XVII-1, 1700-1712 : Nicolas Malebranche, *Œuvres complètes*, éd. André Robinet, 20 vol., Paris, Vrin, 1958-1970, tome XVII-1, texte identique de 1700 à 1712.

« Mécanisme », *Encyclopédie*, t. X : article « Mécanisme », dans *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers, par une Société de Gens de Lettres. Mis en ordre et publié par M^r. ****. Neufchastel, Samuel Faulche, 1765, tome X.

Molières [1734], Leçon V, Proposition V : Joseph Privat de Molières, *Leçons de physique*, Paris, Veuve Brocas, Musier, Billot, 1734-1739, 1734 (tome I), Proposition V de la Leçon V (tome II : 1736 ; tome III : 1737 ; tome IV : 1739).

Newton, *Principes*, TMC, II, Prop. LII : Isaac Newton, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, éd. marquise Du Châtelet, Paris, Desaint, Saillant, Lambert, 1759, Livre II, Proposition LII.

HARS 1733 (1735) : *Histoire de l'Académie royale des sciences. Année M.DCCXXXIII. Avec les Mémoires de Mathématiques & de Physique pour la même Année. Tirés des Registres de cette Académie*, Paris, Imprimerie royale, 1735. Partie « Histoire ».

MARS 1733 (1735) : *Histoire de l'Académie royale des sciences. Année M.DCCXXXIII. Avec les Mémoires de Mathématiques & de Physique pour la même Année. Tirés des Registres de cette Académie*, Paris, Imprimerie royale, 1735. Partie « Mémoires ».

MARS 1666-1699 (1730), t. X : *Mémoires de l'Académie royale des sciences. Depuis 1666 jusqu'à 1699*, Paris, La Compagnie des Libraires, 1730, tome X.

INTRODUCTION GENERALE

Cette étude porte sur la philosophie naturelle de Nicolas Malebranche et son devenir au XVIII^e siècle. Elle met en évidence l'existence de principes, de lois et de méthodes explicatifs communs au *corpus* malebranchien ainsi qu'à des écrits du XVIII^e siècle, et en propose l'analyse. Cette philosophie s'inscrit dans le prolongement du changement de statut de la mécanique qui, de science mixte, s'identifie au cours du XVII^e siècle à la philosophie naturelle proprement dite, et à l'assimilation de cette dernière à la « philosophie mécanique », expression qui apparaît autour des années 1660¹.

Robert Boyle utilise indifféremment les expressions « mechanical hypothesis or philosophy » et « corpuscular philosophy » pour regrouper « the Atomical and Cartesian hypotheses » dont les explications des phénomènes naturels reposent sur le mouvement de corpuscules – « minutes bodies » ou « minutes particles » – de différentes formes². Ces formules s'avèrent d'un usage courant dès la fin du XVII^e siècle et dans le premier XVIII^e siècle. Le *Dictionnaire de Trévoux* de 1721 précise que « la Philosophie *mécanique* est la même que la *Philosophie corpusculaire*, c'est-à-dire, celle qui explique tous les effets de la Nature par des principes de Mécanique, la figure, l'arrangement, la disposition, la grandeur ou la petitesse, le mouvement des parties qui composent les corps naturels »³. L'*Encyclopédie* de Diderot et D'Alembert, qui reprend la définition de la *Cyclopædia* de Chambers, évoque aussi « la *Physique mécanique & corpusculaire* » qu'elle définit avec des termes proches du *Trévoux* en ajoutant que les explications de phénomènes se font « conformément aux lois de la nature & du mécanisme bien constatées »⁴. D'après l'entrée « Corpusculaire » de l'*Encyclopédie*, une telle physique n'attribue rien d'autre aux corps « que ce qui est renfermé dans l'idée d'une chose impénétrable & étendue, & qui peut être conçu comme une de ses modifications, comme la grandeur, la divisibilité, la figure, la situation, le mouvement & le repos » : les propriétés de la matière ne se déduisent que de ces « qualités » et non de « formes substantielles ». Pour les corps, les « qualités sensibles » (les couleurs, le chaud, le froid, les saveurs etc.) ne résultent que de la disposition des particules qui les composent et, pour l'homme, elles ne proviennent que « des sensations de notre ame, causées par l'ébranlement des organes ». Cette philosophie naturelle ne reconnaît pour la matière d'autre

1 Sur les sens du mot « mécanique » et ce changement de statut, voir notamment Alan Gabbey, « Newton's *Mathematical Principles of Natural Philosophy* : a Treatise on 'Mechanics' ? », éd. Peter M. Harman et Alan E. Shapiro, *The Investigation of Difficult Things. Essays on Newton and the History of Exact Sciences*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992, p. 305-322 ; Gabbey, « Between *Ars* and *Philosophia Naturalis* : Reflections on the Historiography of Early Modern Mechanics », éd. Judith V. Field and Franck A. J. L. James, *Renaissance and Revolution : Humanists, Scholars, Craftsmen and natural Philosophers in Early Modern Europe*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993, p. 133-146 ; Sophie Roux, *La philosophie mécanique (1630-1690)*, thèse, Paris, EHESS, 1996, p. 11-26.

2 Robert Boyle, *Some Specimens of an Attempt to make Chymical Experiments useful to illustrate the notions of the Corpuscular Philosophy*, dans *The works of Robert Boyle*, éd. Michael Hunter et Edwards B. Davis, London, Pickering & Chatto, 1999-2000, vol. II, p. 86-88. Sur l'expression « philosophie mécanique » qui figure manifestement chez Henry More en 1659 mais qui est surtout pensée par Boyle, voir notamment Roux, *La philosophie mécanique*, p. 19-26 ; Daniel Garber, « Remarks on the Pre-history of the Mechanical Philosophy », éd. Daniel Garber et Sophie Roux, *The Mechanization of natural Philosophy*, Dordrecht, Springer, 2012, p. 3-26. Sur cette « philosophie » au XVII^e siècle voir les études classiques de Marie Boas, « The Establishment of the Mechanical Philosophy », *Osiris*, vol. 10, 1952, p. 412-541, Eduard Jan Dijksterhuis, *The Mechanization of the World Picture*, Princeton, Princeton University Press, 1961, Richard S. Westfall, *The Construction of Modern Science : Mechanisms and Mechanics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1977.

3 « Mécanique », *Dictionnaire Universel François et Latin*, Trévoux, Delaulme etc., t. IV, 1721, p. 273a.

4 « Physique », *Encyclopédie*, t. XII, p. 539a. Voir aussi « Physicks » dans Ephraïm Chambers, *Cyclopædia : or, an Universal Dictionary of Arts and Sciences*, London, W. Innys etc., t. II, 1743 (identique dans la première édition de 1728, t. II, p. 809). Pour une définition proche de la « physique corpusculaire », voir « Physique », *Dictionnaire Universel François et Latin*, Paris, Compagnie des Libraires associés, t. VI, 1771, p. 748a. « Mécanisme » se dit « de la manière dont quelque cause mécanique produit son effet ; on dit le *mécanisme* d'une montre, le *mécanisme* du corps humain », voir « Mécanisme », *Encyclopédie*, t. X, p. 226b. Soulignons que Chambers emprunte beaucoup pour son dictionnaire au *Trévoux*.

action que « le mouvement local » et, celui-ci étant « nécessairement l'effet de l'action d'un être différent du corps mû », « il y a dans le monde quelque chose qui n'est pas corps ; sans quoi les corps dont il est composé n'auraient jamais commencé à se mouvoir ». « Corpusculaire » mentionne notamment l'œuvre de Descartes pour illustrer ces « opinions »¹. L'article « Cartésianisme » livre un précis de la cosmogonie du philosophe qui fait naître le monde des mouvements et des chocs, tous les deux régis par des lois divines, et d'une matière homogène primitive qui remplit l'intégralité de l'espace car « l'étendue & la matière sont la même chose »². Cette « physique mécanique » repose en effet sur des « lois de la nature » et le substantif « Mécanique », qui paraît tributaire de l'étymologie du mot et renvoie aux machines, prend aussi dans des dictionnaires du XVIII^e siècle le sens plus global de « science du mouvement » laquelle énonce des « lois générales »³. Ces « lois » font parties de la « mécanique rationnelle » qui « procède dans ses opérations par des démonstrations exactes » par opposition à la « mécanique pratique » des artistes, l'*Encyclopédie* reprenant là une terminologie et une dichotomie exposées dans la « Préface » des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* de Newton⁴.

La philosophie mécanique recouvre ainsi plusieurs caractéristiques. Selon James E. McGuire « mechanical » signifie que : « [la] nature est régie par des lois géométriques immuables ; que l'action par contact est le seul mode de changement ; qu'on doit combiner les premiers principes aux investigations expérimentales ; que les régularités doivent être expliquées sous une forme mathématique ; que tous les phénomènes proviennent de la matière *en* mouvement, ou de la matière *et* du mouvement ; que les tourbillons (Descartes), les centres de force (Leibniz) ou les petits fragments de matière conçus comme des atomes ou des corpuscules composent les corps ; que les changements résultent de la manière dont les particules modifient leurs configurations respectives ; que la "nouvelle science" [la philosophie mécanique] conçoit la nature dynamiquement en termes de mouvement, plutôt que statiquement en termes de taille et de forme des particules internes ; que les qualités occultes doivent être bannies des explications qui sont basées sur l'expérience sensorielle en termes d'idées claires et distinctes ; ou que la nature doit être conçue en analogie avec les opérations des machines [...] Ainsi, si tous [les philosophes] convenaient que le contact est une condition nécessaire à une explication mécanique, il n'y avait pas d'accord quant aux conditions suffisantes »⁵. Pour Sophie Roux cette philosophie implique « premièrement,

1 « Corpusculaire », *Encyclopédie*, t. IV, p. 269b-270b. L'article est de Samuel Formey.

2 « Cartésianisme », *Encyclopédie*, t. II, p. 716a-726a.

3 Pour cette transformation de l'objet de la mécanique à partir de la deuxième moitié du XVII^e siècle, voir Gabbey, « Between *Ars* and *Philosophia Naturalis* ». Dans le *Trévoux* de 1721, et jusqu'à l'édition de 1752, le nom « Mécanique » est avant tout introduit dans le sens traditionnel des « mécaniques » qui se rapporte aux machines. Mais l'article évoque aussi la « théorie » et les « principes » à la base du fonctionnement celles-ci et, par ailleurs, le mot se réfère « à la manière d'expliquer les ressorts d'une machine, & les causes naturelles des actions des corps animez & inanimez ». Seule l'édition de 1771 donne la « science du mouvement » pour définition générale du mot. Voir *Dictionnaire Universel François et Latin*, t. IV, 1721, p. 273a et *Dictionnaire Universel*, t. V, 1771, p. 896a et b. Voir aussi « Statique », *Encyclopédie*, t. XV, p. 496 : « la mécanique en général a pour objet les lois de l'équilibre & du mouvement des corps ». Sur des définitions du mot « mécanique » dans des traités et dictionnaires du XVIII^e siècle, voir Christophe Schmit, « Mécanique, statique, dynamique. Répartition du savoir et définitions dans l'*Encyclopédie* », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, 1^{re} partie, vol. 49, 2014, p. 225-256 et 2^e partie, vol. 50, 2015, p. 274-299.

4 « Mécanique », *Encyclopédie*, t. X, p. 222a-222b. Pour cette « Préface » et les sens du mot « mécanique » chez Newton, voir Gabbey, « Newton's *Mathematical Principles of Natural Philosophy* ».

5 James E. McGuire, « Boyle's Conception of Nature », *Journal for the History of Ideas*, vol. 33 (4), 1972, p. 523 : « [the] nature is governed by immutable geometrical laws ; contact action is the only mode of change ; first principles are to be integrated with the experimental investigations ; regularities are to be explained in mathematical form ; that all phenomena arrive from matter *in* motion, or matter *and* motion ; that compound bodies are composed of vortices (Descartes), centers of force (Leibniz), or tiny bits of matter conceived as atoms or corpuscules ; that changes in phenomena result from the way in which internal particles of motion alter their configurations ; that the 'new science' [la philosophie mécanique] conceives nature dynamically in terms of motion, rather than statically in terms solely of the size and shape of internal particles ; that occult qualities are to be banished from explanations which must be based on sensory experience in terms of clear and distinct ideas ; or that nature is to be conceived in analogy to the operations of

l'idée que toute transformation naturelle résulte d'une redistribution des mouvements dans la matière ; en second lieu, l'idée que tout être naturel est une machine » ; aspects auxquels il faut associer l'absence de « sympathie », d'« antipathie », et d'« action à distance »¹. Alan Gabbey ajoute aux deux premiers points mentionnés par S. Roux « un idéal de mathématisation », « la croyance en des lois de la nature et du mouvement nécessaires », « une théorie dans laquelle le spirituel et l'immatériel ont été bannis du champ d'investigation »². Pour Andrew Janiak, l'action des corps entre eux par le seul contact apparaît comme une « norme » pour cette physique³.

Sans chercher ici à définir la « philosophie mécanique », ces quelques éléments historiques et historiographiques permettent de situer le cadre général dans lequel s'inscrit une philosophie naturelle commune à Malebranche et à des savants du XVIII^e siècle. Cette dernière rejette la physique des formes et des qualités, ses principes premiers sont la matière dont l'essence est l'étendue avec pour corollaire l'absence de vide et le mouvement local, elle considère que les changements dans la nature ne s'opèrent que par le contact des corps entre eux, elle banie les actions à distance et les forces internes aux corps, elle s'appuie sur une « mécanique rationnelle » comprenant un certain nombre de lois aprioriques et expérimentales, elle fait appel à « l'action d'un être différent du corps mû » (selon la formule de l'acticle « Corpusculaire ») afin fonder métaphysiquement les lois de comportement des corps et leurs interactions, elle propose des méthodes ou des « mécanismes » pour rendre compte de phénomènes. Mais si ces caractéristiques s'avèrent communes à bon nombre de savants, la physique malebranchienne renferme en outre un certain nombre de traits distinctifs à l'origine d'une des formes prises par la philosophie mécanique au XVIII^e siècle. Ceux-ci nous semblent résulter de réflexions originales sur les fondements de cette philosophie naturelle touchant à la causalité physique et au concept d'inertie, et reposer sur la mise en place de mécanismes explicatifs particuliers. Ces spécificités font l'objet du présent livre⁴.

CAUSALITE, INERTIE ET PETITS TOURBILLONS : HISTORIOGRAPHIE ET THESESES

Causalité, inertie et mécanismes sont des thèmes traités dans plusieurs études portant sur la physique de Malebranche et son devenir : après avoir évoqué la manière dont ils y sont abordés, nous soulignons les compléments apportés dans ce livre avant d'en exposer les thèses.

Eléments historiographiques

Selon Thomas L. Hankins, les analyses de Malebranche sur la causalité exercent une influence majeure sur D'Alembert qui rejette une mécanique fondée sur les forces⁵. A l'appui

mechanical activities [...] Thus, while they [les philosophes] all agreed that contact action was a necessary condition for a mechanical explanation, there was no settled agreement as to sufficient conditions ».

1 Roux, *La philosophie mécanique*, p. 32-33.

2 Gabbey, « Newton, active powers, and the mechanical philosophy », éd. Bernard I. Cohen et George E. Smith, *The Cambridge Companion to Newton*, Cambridge, Cambridge University Press, 2002, p. 337-338 : « the ideal of mathematizing the world picture », « the belief in necessary laws of nature and of motion », « a theory in which the spiritual and the immaterial have been banished from the domain of investigation ».

3 Andrew Janiak, *Newton as Philosopher*, Cambridge, Cambridge University Press, 2008, p. 53.

4 Nous ne prétendons pas donner les caractéristiques de la philosophie naturelle de Malebranche et de successeurs mais des caractéristiques communes. Par ailleurs, la « physique » assimilée dans les paragraphes précédent à la « philosophie naturelle » couvre au XVII^e et au XVIII^e siècle un domaine plus large que le sens actuel du mot : notre *corpus* se limite à un champ qui correspondrait de nos jours aux « sciences physiques ».

5 Thomas L. Hankins, *Jean D'Alembert, Science and the Enlightenment*, New York, Gordon and Breach, 1990 (1^{re} éd., 1970), p. 155 : « Malebranche specifically attacked all forces and was without doubt a major influence on D'Alembert's mechanics » (« les attaques de Malebranche spécifiquement à l'encontre des forces ont sans aucun doute exercé une influence majeure sur la mécanique de D'Alembert »).

de cette thèse Hankins évoque des idées communes aux deux savants, à savoir que la mécanique doit exclure les causes et doit se réduire à une science des effets, et que la recherche de la loi régissant ceux-ci doit demeurer l'unique horizon du savoir. Il relève aussi l'existence de références explicites ou implicites à Malebranche dans le *corpus* d'Alembert¹. Ainsi, l'article « Communication du mouvement » de l'*Encyclopédie* rapporte des réflexions de Malebranche au sujet de la causalité lors du choc des corps et, dans un passage de son *Traité de dynamique*, D'Alembert évoque des causes qui « produisent » des effets « ou plutôt dont elles sont l'occasion »². Le mot « occasion » ferait ici référence à l'occasionalisme affirmant l'impossibilité de concevoir l'action d'un corps sur un autre autant que l'interaction corps-esprit, Dieu étant alors la seule cause efficiente. Denis Moreau rappelle « l'obscurité fondamentale », pour Malebranche, des notions de « force », « d'efficace », de « puissance » et, par conséquent, « la difficulté qu'il y a à comprendre la causalité telle que nous la concevons naturellement en attribuant une telle efficace aux causes secondes » ; il ajoute que ce serait « une erreur de croire que l'occasionalisme [...] prétend rendre intelligible la causalité dans son essence ». Aussi, le contenu de lois physiques se détermine chez Malebranche par « la constatation *a posteriori* de consécutions réglées »³.

Pour sa part, Alain Firode souligne que le rejet de « tout réalisme de la force » par D'Alembert « semble [...] participer d'un contexte intellectuel plus vaste témoignant [...] d'une véritable 'crise' des notions de force et de cause motrice »⁴. Si dans sa critique des forces D'Alembert ne fait d'allusions directes ni à Malebranche ni à d'autres occasionnalistes, pour autant « il n'est pas impossible [...] que leurs objections à l'encontre des notions de forces et de cause motrice aient contribué à l'apparition de ses [D'Alembert] convictions anti-dynamiste »⁵. Par ailleurs, D'Alembert a reçu au Collège Mazarin dans les années 1730 un enseignement contenant un exposé de la théorie des causes occasionnelles⁶.

L'œuvre de D'Alembert ainsi que celles de Pierre Louis Moreau de Maupertuis et de David Hume témoignent d'un tel contexte. Selon Véronique Le Ru, « la divinisation que La Forge, Cordemoy puis, à leur suite, Malebranche opèrent de l'efficace causale aboutit au refus sceptique de considérer les causes et les forces autrement que par leurs effets, ce qui produit une laïcisation de la science qui s'autorise à établir des lois, compte non tenu des causes »⁷. Par ailleurs, pour D'Alembert et Maupertuis, gravitation newtonienne et impulsion sont également inconcevables, leurs raisonnements s'appuyant sur l'argumentation des occasionnalistes pour lesquels l'efficace du choc est impensable : « l'argument de l'inconcevable », selon l'expression de V. Le Ru, consiste alors chez ces deux savants à défendre la théorie newtonienne en disqualifiant l'idée, soutenue par des partisans de la philosophie mécanique, selon laquelle le choc serait une cause explicative plus claire que la force de gravitation. Pour V. Le Ru, « la solution occasionnaliste du problème de la causalité *touche* le mouvement de scepticisme » concernant « la possibilité de connaître la nature des causes du mouvement autrement que par leurs effets »⁸.

1 *Ibid.*, p. 158-159.

2 D'Alembert, *Traité de dynamique*, David, Paris, 1743, p. x et D'Alembert, « Communication du mouvement », *Encyclopédie*, t. III, p. 727b-729a.

3 Denis Moreau, *Malebranche. Une philosophie de l'expérience*, Paris, Vrin, 2004, p. 171.

4 Alain Firode, *La dynamique de D'Alembert*, Paris-Montréal, Vrin-Bellarmin, 2001, p. 14. L'auteur emprunte le mot « crise » à Helmut Pulte, *Das Prinzip der kleinsten Wirkung und die Kraftkonzeptionen der rationalen Mechanik*, Stuttgart, F. Steiner Verlag, 1989, p. 83-88.

5 Firode, *La dynamique de D'Alembert*, p. 17-18.

6 *Ibid.*, p. 18. Sur cet enseignement des causes occasionnelles, Firode, « Le cours de philosophie d'Adrien Geffroy », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, n° 38, 2005, p. 203-224 ; Firode, « Le cartésianisme dans le cours de philosophie au début du XVIII^e siècle », *Histoire de l'éducation*, n° 120, 2008, p. 55-76.

7 Véronique Le Ru, *La crise de la substance et de la causalité. Des petits écarts cartésiens au grand écart occasionnaliste*, Paris, CNRS, 2003, p. 183.

8 *Ibid.*, 182-183. Outre l'occasionalisme entraînant une réflexion sur la causalité, Le Ru évoque « un mouvement de pensée plus difficile à cerner où convergent sans doute l'immatérialisme de Berkeley et le développement considérable, à la suite

Jean-Christophe Bardout, en évoquant le « malebranchisme en France au siècle des Lumières », et en particulier la présence de Malebranche dans l'*Encyclopédie*, souligne que « le renoncement à la considération de la cause efficiente, en tant que ‘vraie cause’ tient [...] une place de premier plan dans l'évolution vers ce que nous pouvons nommer une conception nomologique de la causalité scientifique »¹. Deux « traits typiques » caractérisent alors cet « occasionalisme physique » : assigner les lois des phénomènes en ignorant les causes et une défense de l'attraction comme soulignée dans le paragraphe précédent².

Concernant l'examen des explications mécaniques dans la physique Malebranche, les études de Paul Mouy, de Pierre Costabel, d'André Robinet, l'édition critique et commentée des *Œuvres complètes* du philosophe, notamment celle de *De la recherche de la vérité*, embrassent l'intégralité de ses travaux scientifiques³. Par ailleurs, un certain nombre de recherches portent sur des domaines particuliers de cette physique tels que l'optique, la mécanique céleste, des règles du choc etc.⁴ L'origine de la théorie malebranchiste des petits tourbillons dont le philosophe compose la matière subtile et les mécanismes interprétatifs des phénomènes naturels qu'il propose sont donc documentés.

Les travaux sur le devenir de cette physique au XVIII^e siècle se développent essentiellement autour de trois pôles, un portant sur la mécanique rationnelle (1), un lié à l'optique (2), un dernier concernant les petits tourbillons (3) :

(1) Pour Robinet, Malebranche apparaît comme « le plus grand ‘patron’ de l'époque » au sein de l'Académie royale des sciences, ses études et celles de Costabel montrant l'importance du philosophe et du « groupe malebranchiste » qu'il fédère autour de lui dans la défense et la promotion du calcul différentiel et intégral en France dans son symbolisme leibnizien, un « groupe » contribuant de manière essentielle au développement de la mécanique à l'aide de ces mathématiques⁵. Henry Guerlac et John B. Shank évoquent le rôle

de l'œuvre de Newton, de la théologie naturelle et d'une conception 'théologisante' de la physique en Angleterre mais aussi en Hollande et en Allemagne ». Voir aussi p. 127-128 et Le Ru, « L'attraction et l'argument de l'inconcevable », *Archives internationales d'histoire des sciences*, vol. 53, n° 150-151, 2003, p. 131-138.

- 1 Jean-Christophe Bardout, « Quelques remarques sur le malebranchisme en France au siècle des Lumières », éd. Delphine Kolesnik-Antoine, *Les Malebranchismes des Lumières. Etudes sur les réceptions contrastées de la philosophie de Malebranche, fin XVII^e et XVIII^e siècles*, Paris, Honoré Champion, 2014, p. 18 : « les schèmes causaux élaborés par l'occasionalisme, et systématisés par Malebranche, ont fourni au Siècle des Lumières un outil performant pour développer sa propre épistémologie de l'explication scientifique. Le schéma causal occasionnaliste favorise notamment cette forme d'agnosticisme quant à la cause réelle des faits à expliquer, particulièrement présent dans les contributions [à l'*Encyclopédie*] de D'Alembert ».
- 2 *Ibid.*, p. 18-19.
- 3 Paul Mouy, *Le Développement de la Physique Cartésienne*, Paris, Vrin, 1934, p. 264-319 ; Pierre Costabel, « La participation de Malebranche au mouvement scientifique – le modèle tourbillonnaire », dans (collectif) *Malebranche l'homme et l'œuvre 1638-1715*, Paris, Vrin, 1967, p. 75-101 ; André Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences. L'œuvre scientifique, 1674-1715*, Paris, Vrin, 1970 ; Malebranche, RDV, VI, II, IV et IX, « Notes de l'éditeur », p. 550-553 et p. 561-562 ; Malebranche, RDV, *Eclaircissements XVI et XVII*, « Notes de l'éditeur » et « Commentaires scientifiques » par Costabel, p. 375-418 ; Malebranche, OCM XVII-1, *Pièces jointes, écrits divers*, « Notes de l'éditeur » par Costabel, p. 199-236 concernant les règles du choc.
- 4 Citons, pour l'optique et l'acoustique : Pierre Duhem, « L'optique de Malebranche », *Revue de Métaphysique et de Morale*, t. 23, n° 1, 1916, p. 37-91 ; Casper Hakfoort, *Optics in the Age of Euler. Conceptions of the Nature of Light 1700-1795*, Cambridge, Cambridge University Press, 1995, p. 46-85 ; Olivier Darrigol, « The analogy between light and sound in the history of optics from Malebranche to Thomas Young » *Physis*, vol. 46, 2009, p. 111-217 ; Darrigol, *A History of Optics. From Greek Antiquity to the Nineteenth Century*, Oxford University Press, Oxford, 2012, p. 139-143. Pour la mécanique céleste et la pesanteur : Eric John Aiton, *The Vortex Theory of Planetary Motions*, Londres, New York, Macdonald, Elsevier, 1972, p. 177-179 ; Roux, *La philosophie mécanique*, p. 551-556. Pour la mécanique céleste et l'optique en liens avec les travaux de Newton, Mouy, « Malebranche et Newton », *Revue de métaphysique et de morale*, t. 45, n° 2, 1938, p. 411-435. Sur les règles du choc : Adrew Pyle, *Malebranche*, Routledge, Londres, New York, 2003, p. 131-157. Pour une comparaison de différents travaux de Malebranche et de Huygens, voir Robinet, « Huygens et Malebranche », dans *Huygens et la France*, collectif, Paris, Vrin, 1982, p. 223-239.
- 5 Voir « Le groupe malebranchiste de l'Académie des sciences » dans OCM XX, p. 147-176 en particulier p. 152 ; Robinet, « Le groupe malebranchiste introducteur du calcul infinitésimal en France », *Revue d'histoire des sciences*, vol. 13-4, 1960, p. 287-308 ; OCM XVII-2, *Mathematica*, édité par Costabel et de ce même auteur « La participation de Malebranche ». Sur la philosophie malebranchiste des mathématiques, voir notamment Robinet, « La philosophie malebranchiste des mathématiques », *Revue d'histoire des sciences*, vol. 14-3, 1961, p. 205-254. Pour John

joué par la philosophie de la connaissance de Malebranche dans la réception des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* de Newton : puisque pour Malebranche l'unique vérité accessible en physique repose sur l'intelligibilité mathématique des phénomènes, ce qui implique une primauté accordée aux relations et aux rapports entre grandeurs et aux lois mathématiques qui les régissent, ceci aurait facilité l'assimilation de Newton¹. Selon Hankins, cette épistémologie, l'occasionalisme à l'origine d'une critique des forces et d'une conception « nomologique » de la causalité, et l'existence d'un « groupe malebranchiste » résument la contribution de Malebranche en mécanique, et ce plus que l'élaboration de nouveaux principes ou de nouvelles techniques mathématiques : « ce sont sa philosophie et les importantes publications de membres de son cercle qui ont fait de lui une figure importante de l'histoire de la mécanique »².

(2) L'intérêt que Malebranche porte au *Traité d'optique* de Newton, et notamment à son volet expérimental, s'avère important pour la diffusion de ce livre en France³.

(3) Quelques études montrent que des savants du XVIII^e siècle inscrivent leurs interprétations de phénomènes physico-chimiques dans le cadre de la théorie des petits tourbillons de Malebranche⁴.

Pour résumer, la postérité de Malebranche sur la question de la causalité se manifesterait à travers l'occasionalisme conduisant au rejet d'une physique causale, à la prise en compte des seuls effets, à la recherche de lois indépendamment de la nature des choses, et à cet « argument de l'inconcevable ». Ce livre montrera que, outre les œuvres de Maupertuis et de D'Alembert, d'autres écrits témoignent de la présence d'un « occasionalisme physique » dans le paysage scientifique français du premier XVIII^e siècle. Mais il rendra aussi manifeste l'existence d'une autre forme prise par le malebranchisme caractérisable par une réflexion sur le concept de force d'inertie. Concernant la physique malebranchiste, si les points (1) et (2) évoqués ci-dessus sont documentés, l'histoire du rayonnement de la théorie des petits

Bennett Shank, « “There Was no such Thing as the ‘Newtonian Revolution’, and the French Initiated it”. Eighteenth-century Mechanics in France before Maupertuis », *Early Science and Medicine*, vol. 9, Issue 3, 2004, p. 282, la diffusion du calcul différentiel et intégral a été encouragée par l'estime dont bénéficiait *De la recherche de la vérité* et par la vogue pour la philosophie malebranchienne des mathématiques que ce livre a suscitée. Sur Pierre Varignon, ses relations avec le groupe malebranchiste et ses travaux en mécanique avec le calcul leibnizien, voir Costabel, « Pierre Varignon (1654-1722) et la diffusion en France du calcul différentiel et intégral », *Conférences du Palais de la Découvertes*, D 108, Paris, Palais de la Découverte, 1965, p. 7-28 ; Michel Blay, *La naissance de la mécanique analytique. La science du mouvement au tournant des 17^e et 18^e siècles*, Paris, PUF, 1992.

- 1 Henry Guerlac, *Newton on the Continent*, Ithaca et Londres, Cornell University Press, 1981, p. 53-61 ; Shank, *The Newton Wars and the Beginning of the French Enlightenment*, Chicago, The University of Chicago Press, 2008, p. 56-58 ; Shank, « “There Was no such Thing” », p. 257-292.
- 2 Hankins, « The Influence of Malebranche on the Science of Mechanics During the Eighteenth Century », *Journal of the History of Ideas*, vol. 28, n° 2, 1967, p. 209 : « it was [...] his philosophy of science and the important publications of the members of his circle that made him an important figure in the history of mechanics ». Dans cette même étude (p. 202-205), Hankins associe la thèse malebranchiste de la simplicité des voies de Dieu et le principe de la moindre action utilisé par Pierre Louis Moreau de Maupertuis et Leonhard Euler. Soulignons, malgré tout, que la simplicité des voies ne conduit pas Malebranche à minimiser une quantité afin d'établir des règles de collision, contrairement à ce qui se rencontre chez Maupertuis : son usage en mécanique tient essentiellement à ce qu'elle fonde l'énoncé de la tendance qu'ont les corps à suivre un mouvement rectiligne uniforme, voir Partie I, Chapitre II de ce livre.
- 3 Guerlac, *Newton on the Continent*, p. 63-64 et p. 107-111 ; Darrigol, *A History of Optics*, p. 142-143.
- 4 Concernant l'usage des petits tourbillons notamment en mécanique céleste chez Joseph Privat de Molières et Jean Baptiste Le Corgne de Launay, voir Pierre Brunet, *L'introduction des théories de Newton en France au XVIII^e siècle avant 1738*, Genève, Slatkine reprints, 1970, p. 245-262, p. 327-338 ; Aiton, *The Vortex Theory*, p. 211-214 ; Guerlac, *Newton on the Continent*, p. 69-72 ; Carlo Borghero, *Les Cartésiens face à Newton. Philosophie, science et religion dans la première moitié du XVIII^e siècle*, Turnhout, Brepols, 2011, p. 103-138. Sur la théorie de la pesanteur de 1720 de Jean Bouillet voir Aiton, *The Vortex Theory*, p. 179-180 et Brunet, *L'introduction des théories de Newton*, p. 89-96. Pour les travaux sur l'électricité de Privat de Molières et Laurent Béraud, voir John L. Heilbron, *Electricity in the 17th & 18th Centuries. A Study of Early Modern Physics*, Mineola, New York, Dover Publications, 1999 (1^{re} éd. en 1979), p. 276-279. Sur la chimie de Privat de Molières, voir Bernard Joly, *Descartes et la chimie*, Paris, Vrin, 2011, p. 208-211. Pour Jean Simon Mazière et l'usage des petits tourbillons dans les collisions élastiques, voir Brunet, *L'introduction des théories de Newton*, p. 140-144. Sur des polémiques concernant l'existence des petits tourbillons, voir Brunet, « Un grand débat sur la physique de Malebranche au XVIII^e siècle », *Isis*, XX, 2, 1933, p. 367-395.

tourbillons de Malebranche au sein de la République des Lettres reste à écrire. Cette recherche évoquerait les arguments apportés pour fonder cette théorie, elle ferait le bilan des différents domaines physico-chimiques explorés et dévoilerait les récurrences de principes, de lois et de méthodes, elle établirait que ce mécanisme était répandu, qu'il faisait l'objet de polémiques et, enfin, qu'il pouvait prendre des formes variées ne respectant pas nécessairement à la lettre les travaux de Malebranche. La seconde partie de ce livre propose une telle histoire.

Thèses de cet ouvrage

Dans un premier temps, cette étude dévoilera l'existence de deux formes prises par la métaphysique de la science du mouvement en France au XVIII^e siècle qu'il faut rattacher à Malebranche. L'une se rapporte à « l'occasionalisme physique » et aux conséquences de l'inconcevabilité de la causalité ; l'autre est liée au rejet du concept de force de repos des *Principes de la philosophie* de Descartes et à ce qu'il entraîne. Ensuite, elle prouvera que Malebranche, essentiellement par son refus de ce concept cartésien, est à l'origine d'un type d'explication des phénomènes physico-chimiques, la théorie des petits tourbillons, utilisé par de nombreux savants dans la première moitié du XVIII^e siècle et, pour certains, au-delà. L'abandon de cette force apparaît alors comme une caractéristique fondamentale de la philosophie naturelle de Malebranche dont les travaux donnent naissance à une des formes prise par la philosophie mécanique au XVIII^e siècle. Les paragraphes ci-dessous développent les apports de ce livre relatifs à cette métaphysique du mouvement (A) et à ce mécanisme (B).

(A) Tout en souscrivant aux thèses rappelées précédemment au sujet de « l'occasionalisme physique », la première partie de ce livre soulignera que l'épistémologie d'encyclopédistes et l'appropriation de « l'argument de l'inconcevable » ne témoignent pas à elles seules de la postérité de Malebranche au sujet de la causalité physique. Adoptée, discutée ou critiquée, la théorie des causes occasionnelles est répandue dans le paysage savant français et apparaît, notamment, dans le cadre d'analyses portant sur l'existence ou non des causes secondes, sur les états de repos et de mouvement de la matière, sur la cohésion des corps ou bien encore lors de réflexions autour du concept de force d'inertie.

Mais nous remarquerons que le devenir du « malebranchisme » ne se mesure pas seulement à l'aune de cet « occasionalisme physique ». En effet, Malebranche développe à partir de l'œuvre de Descartes une réflexion originale sur la matière et sur les modes d'action de Dieu le conduisant à rejeter l'équivalence ontologique entre repos et mouvement et la force des corps au repos introduite par Descartes dans ses *Principes de la philosophie*. Bien que cette critique soit documentée¹, l'historiographie n'examine pas ses conséquences chez Malebranche et au XVIII^e siècle qui, selon nous, prennent deux formes.

(1) Tout d'abord, une absence de conceptualisation de la force d'inertie et l'énoncé d'une nouvelle loi de la nature se substituant à la première loi de Descartes. Rappelons que cette loi porte sur la persistance des états de mouvement et de repos de la matière soumise à aucune action extérieure, et qu'à ces états sont associés des forces. Au demeurant, la modification de cette loi entraîne aussi celle de la troisième loi de Descartes qui régit l'interaction des corps entre eux². Martial Gueroult souligne que « c'est par la négation de la force de repos que se manifeste originellement et de façon continue l'opposition entre la physique de Malebranche

1 Mentionnons Mouy, *Le Développement de la Physique Cartésienne*, p. 282-284 ; Martial Gueroult, « Métaphysique et physique de la force chez Descartes et Malebranche », *Revue de Métaphysique et de Morale*, n°1 et n° 2, 1954, p. 1-37 et p. 113-134 ; Ferdinand Alquié, *Le cartésianisme de Malebranche*, Paris, Vrin, 1974, p. 39-40 ; Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences*, p. 87-110 et, dans les éditions des œuvres complètes de Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 420-449 et « Notes de l'éditeur », p. 561-562, OCM XVII-1, « Notes de l'éditeur », p. 199-236 ; Pyle, *Malebranche*, p. 144-147 ; Steven Nadler, « Malebranche on Causation », dans Nadler (éd.), *The Cambridge Companion to Malebranche*, Cambridge, Cambridge University Press, 2000, p. 132-133.

2 Pour ces lois, voir Partie I, Chapitre I.

et celle de Descartes »¹. Pour Gueroult, ceci conduit notamment à une modification des règles du choc héritées de Descartes, à une autre explication de la cohésion et de l'élasticité des corps dues toutes deux selon Malebranche à l'action de la matière subtile, et permet de « pallier [...] les difficultés relatives aux mouvements des divers éléments » de la physique de Descartes². Gueroult écrit aussi, sans toutefois développer, qu'« en déniaut au repos toute force de résistance, Malebranche abolit cet embryon de notion de masse que la physique cartésienne avait introduit »³ ; cet aspect nous semble essentiel et nous y reviendrons dans notre Partie I. Andrew Pyle vise à étudier le rôle de la philosophie de Malebranche dans la réponse qu'il apporte à des sujets de physique et se concentre sur ce qu'il considère comme « la plus fondamentale de toutes les questions de physique – le contenu et le statut épistémologique des lois du mouvement » : c'est ici « qu'on pourrait s'attendre à voir à l'œuvre l'épistémologie rationaliste de Malebranche et sa métaphysique occasionaliste faire un travail important au service du programme de recherche du mécanisme cartésien »⁴. Or, d'une part, bien que s'attachant aux lois du mouvement, cette étude ne relève pas les conséquences de la réforme malebranchiste de la force de repos – qui concernent la non conceptualisation de la force d'inertie et la formulation de ce qu'on nommerait actuellement le principe d'inertie – et, d'autre part, nous verrons que c'est davantage l'abandon de cette force que l'occasionalisme qui a des implications sur la physique. Pour sa part, Lisa Downing remarque que la conception malebranchienne de la force mouvante semble témoigner d'une méconnaissance ou d'un rejet de l'inertie⁵. Mais plutôt que l'absence de conceptualisation de la force d'inertie pour un corps au repos, l'auteur évoque la contradiction entre une conception actuelle du mouvement inertiel qui ne suppose aucune force tandis que pour Malebranche un mouvement requiert une force permanente.

Nous remarquerons que Malebranche fonde la physique sur la persistance du mouvement rectiligne uniforme, et sur elle seule, excluant ainsi que l'état de repos puisse être la source d'une action. D'une part, un corps au repos ne saurait être en lui-même la cause réelle d'une action, la matière n'ayant pas de force en propre et, d'autre part, Malebranche considère que Dieu n'agit que par le mouvement. A la fin du XVII^e siècle et durant le XVIII^e siècle de nombreux savants adoptent ces thèses tandis que d'autres les critiquent ; dans les deux cas, ces prises de positions témoignent d'une diffusion et d'une connaissance de l'argumentation malebranchiste. Des recherches semblent associer ce rejet de la force de repos à l'occasionalisme⁶, mais s'il demeure difficile de comprendre les raisons de cette exclusion des corps au repos du champ des causes occasionnelles⁷, nous constaterons que des savants se

1 Gueroult, « Métaphysique et physique », p. 126

2 *Ibid.*, p. 129. Nous suivons l'auteur sur ces points en ajoutant que cette réforme et ces « difficultés », insuffisamment explicitées dans cet article et sur lesquelles nous reviendrons, entraînent l'énoncé d'une nouvelle loi de la nature, de nouvelles méthodes explicatives, et une révision complète du système de Descartes. Sur ces aspects et sur les explications de la cohésion et de l'élasticité des corps chez Descartes et Malebranche, voir Partie I, Chapitres I et II et Partie II, Chapitre I.

3 *Ibid.*, p. 133.

4 Pyle, *Malebranche*, p. 131 : « the most fundamental of all the questions of physics – the content and epistemological status of the laws of motion » ; « here, if anywhere, we might expect to see Malebranche's rationalist epistemology, and his occasionalist metaphysics, doing important work, serving to direct the research program of Cartesian mechanism ».

5 Lisa Downing, « Efficient Causation in Malebranche and Berkeley », éd. Tad M. Schmaltz, *Efficient Causation. A History*, Oxford, Oxford University Press, 2014, p. 208-209 : « Malebranche's conception of moving force seems to presuppose a misunderstanding or rejection of inertia ».

6 Nadler, « Malebranche on Causation », p. 132 estime que « Malebranche actually employed occasionalism to modify some important details of Descartes' physics » (« Malebranche a en fait utilisé l'occasionalisme pour modifier certains détails importants de la physique de Descartes »), en l'occurrence la force des corps au repos. Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 99 juge que cette exclusion de la force « relève [...] d'un extrémisme occasionaliste ».

7 Au sujet de la négation par Malebranche de l'équivalence ontologique de Descartes entre états de repos et de mouvement, Nadler, « Malebranche on Causation », note 25, p. 137 remarque que « given Malebranche's account of divine sustenance and the conclusions he draws from it about the motion and rest of bodies, however, it is not clear that he is entitled to such distinction » (« étant données la thèse malebranchienne de la création continuée et les conclusions qu'il en tire sur le mouvement et le repos des corps, il n'est cependant pas clair qu'il soit autorisé à une telle distinction »).

réclamant de cette théorie conservent cette force de repos, certains conceptualisant la force d'inertie et la réaction des corps tout en récusant une quelconque efficience à la matière.

(2) L'autre conséquence est liée à la « conception nomologique de la causalité », les réflexions autour de la force d'inertie suivant deux routes distinctes qui finissent par se croiser. Ainsi, des savants passent de la critique de la force de repos cartésienne à la remise en cause des concepts d'inertie de Leibniz et de Newton. Ils rendent alors compte de la perte de mouvement d'un mobile contre un corps au repos dans un autre cadre théorique que celui des mécaniques leibnizienne et newtonienne : cette perte s'interprète, notamment, à l'aide d'un principe de conservation de la quantité de mouvement ou par l'action du milieu extérieur aux corps. Si ces savants adoptent les termes « force d'inertie » et « réaction », ils n'y voient que de simples noms utilisés par commodité de langage pour résumer des effets constatés. Pour d'autres qui, tout en revendiquant un « occasionnalisme physique », reconnaissent la nécessité du concept d'inertie, cette force renvoie aussi à un simple nom et non à une réalité dynamique intrinsèque à la matière. Leurs réflexions autour du choc et de l'inertie les conduisent, en raison de l'inconcevabilité de l'interaction des corps entre eux, à énoncer que la mécanique ne peut être fondée que sur des lois, à reconnaître qu'elle est la science des effets mesurés et non des causes, et à douter du bien-fondé de la maxime stipulant que les effets sont proportionnels à leurs causes et qui sert à l'époque de fondement à la quantification des forces. Nous remarquerons que ces conséquences se retrouvent dans l'œuvre de Jean Le Rond D'Alembert, et qu'il connaît les termes du débat de l'époque autour de l'inertie.

Ainsi, il existe un « occasionnalisme physique » répandu et une forme de « malebranchisme » caractérisable par des questionnements autour de l'inertie et une remise en cause des fondements de la mécanique qu'il faut rattacher à un examen critique de la science de Descartes. Par ailleurs, l'étude d'un concept particulier, l'inertie, et les prises de positions occasionnalistes qui s'y greffent permettent d'éclairer précisément les raisons, les formes et les conséquences de la « crise » de la causalité du premier XVIII^e siècle.

(B) Cette critique malebranchiste de la force des corps au repos est le trait d'union avec la deuxième partie de notre ouvrage. Ce concept, chez Descartes, intervient dans l'élaboration des règles du choc, il contribue à l'organisation du système du monde et il participe à l'explication de phénomènes naturels. Son abandon par Malebranche entraîne alors une révision radicale de cette physique que nous examinerons. Puisqu'il existe plusieurs études consacrées à la théorie des petits tourbillons de Malebranche, notre lecture du *corpus* malebranchien visera davantage à donner les caractéristiques de la dernière version de son système, tel qu'il figure dans l'édition de 1712 de *De la recherche de la vérité*, et ce dans la perspective de lier ce travail à ceux de successeurs. Nous exposerons alors les arguments avancés par Malebranche pour justifier sa théorie, nous en présenterons les principes, les lois et les méthodes explicatives, nous recenserons les propriétés de la matière subtile. Nous remarquerons aussi que Malebranche ne révisé pas l'intégralité de la physique de Descartes et que, par ailleurs, il n'explore qu'un nombre limité de domaines de la physique. Ainsi, il ne livre pas de nouveau récit cosmogonique, les différentes formes prises par la matière sensible à partir d'une matière originelle unique sont inexplicées, la chimie est quasiment absente du propos et, au sujet du magnétisme et l'électricité, Malebranche renvoie aux explications de Descartes. La dernière édition de son *opus* revêt alors une dimension programmatique, le philosophe se montrant conscient du caractère partiel de la refonte entreprise du mécanisme

Pyle, *Malebranche*, p. 144, constate que « as a mere privation, rest is devoid of causal efficacy – even as an occasional cause, it is inert. Why, precisely, God cannot use a privation as an occasional cause Malebranche does not tell us » (« comme simple privation, le repos est dépourvu d'efficacité causale – même comme cause occasionnelle, il est inerte. Pourquoi, précisément, Dieu ne peut pas utiliser une privation comme une cause occasionnelle, Malebranche ne nous le dit pas »).

cartésien et laissant, comme pourrait écrire Descartes, à ses « neveux » le soin de poursuivre l'œuvre.

Nous montrerons ensuite que cette théorie s'avère amendée, prolongée, discutée, modifiée par de nombreux savants qui se réfèrent explicitement ou non à Malebranche et, conséquemment, qu'il existe une forme de mécanisme au XVIII^e siècle prenant pour texte fondateur l'*Eclaircissement XVI* de 1712 de *De la recherche de la vérité*. Cette théorie s'appuie sur les petits tourbillons de matière subtile qui s'équilibrent mutuellement par les forces centrifuges que leurs mouvements génèrent ; les mécanismes explicatifs des phénomènes naturels reposent alors en grande partie sur des ruptures d'équilibre ou des déséquilibres entre ces tourbillons. La quantité de mémoires et de traités s'appuyant sur cette théorie, et le fait qu'ils ressortissent notamment à un *corpus* académique – mémoires et traités d'académiciens des sciences, pièces remportant des prix – témoigne de l'importance de ce courant et de son ancrage dans le paysage savant français de l'époque. Nous analyserons les différentes justifications apportées à l'existence des petits tourbillons, les propriétés de la matière subtile, la manière dont elle donne naissance aux corps sensibles et les différentes conceptions de la matière, les principes et lois fondamentaux de ce nouveau mécanisme, comment ces tourbillons interviennent dans l'explication des phénomènes physico-chimiques et quels sont ces phénomènes. Nous examinerons aussi en quoi cette théorie diffère d'autres concurrentes et, en particulier, pour quelles raisons et comment ceux qui la promeuvent se démarquent de ceux qu'ils appellent « cartésiens » et « newtoniens ». Ces différents éléments permettront de rendre compte d'un ensemble de pratiques homogènes et d'établir l'existence d'un *corpus* redevable à la réforme du système de Descartes entreprise par Malebranche. Il s'agit, en somme, d'étendre temporellement l'existence d'un « groupe malebranchiste » et d'en multiplier le nombre des acteurs.

« CARTESIENS » ET PHILOSOPHIES MECANIQUES AU XVIII^e SIECLE

Dans de nombreuses études, le mot « cartésiens » désigne des savants qui considèrent que les corps n'agissent mutuellement que par l'intermédiaire d'une impulsion, des savants pour lesquels le vide n'existe pas et qui utilisent des tourbillons célestes de matière subtile. Ainsi, Pierre Brunet assimile la « physique cartésienne » à « l'explication tourbillonnaire du monde »¹. John E. Aiton évoque les « Cartesians », ou encore le « Cartesian system », en se référant à l'usage des tourbillons. Selon ce même auteur, bien que Jean (I) Bernoulli ne considère plus à une certaine époque que les tourbillons entraînent les planètes dans leurs révolutions, il demeure a « Cartesian » car il recherche les causes physiques (mécaniques) des faits empiriques sur lesquels Newton fonde les concepts d'attraction et de vide². Ellen McNiven Hine écrit que « [Jean Jacques Dortous de] Mairan était cartésien par formation et par inclination. Son insistance pour expliquer les phénomènes par un modèle mécanique et sa réticence à accepter l'idée d'une action à distance pourraient justifier sa réputation de cartésien »³. John B. Shank évoque à plusieurs reprises ce qu'il nomme « Cartesian physics » essentiellement identifiée a « a vortex astronomy » assimilée elle-même à un « Cartesian program »⁴. Ce mot « cartésiens » peut aussi qualifier ceux qui réduiraient la mécanique à une

1 Pour Brunet, *L'introduction des théories de Newton*, p. 1.

2 Aiton, *The Vortex Theory*, notamment p. 209-210 et p. 228.

3 Ellen McNiven Hine, « Dortous de Mairan, the 'Cartonian' », *Studies on Voltaire and the Eighteenth Century*, 266, 1989, p. 179 : « Mairan was Cartesian by training and inclination. His insistence on a mechanical model to explain phenomena and his reluctance to accept the idea of action at a distance could be said to justify his reputation as a Cartesian ».

4 Shank, *The Newton Wars*, notamment p. 284, p. 348 et p. 468.

cinématique en identifiant la « force » à une quantité de mouvement : pour Carolyn Iltis, outre les tourbillons, les « cartésiens » pratiquent une « Cartesian kinematics »¹.

D'autres travaux, portant sur la physique expérimentale et la chimie, soulignent les limites des catégories « cartésiens » et « newtoniens » ; ils invitent alors à des examens approfondis des pratiques des savants dans toutes leurs diversités en tenant compte des multiples traditions dans lesquelles elles s'enracinent, et certains suggèrent l'abandon de telles notions. Rod W. Home soutient ainsi qu'il est impossible de classer les physiciens expérimentateurs français du XVIII^e siècle dans le camp des « cartésiens » ou des « newtoniens » et souligne leur approche éclectique². Lawrence M. Principe montre l'inanité des catégories « cartésiens »– « newtoniens » pour la chimie du premier XVIII^e siècle et soutient qu'il n'existe pas à proprement parlé de chimie cartésienne. Ainsi, la science inspirée par Descartes tend à réduire les phénomènes aux principes du mécanisme et n'accorde pas d'autonomie et d'identité particulière à la chimie. Puis l'usage par des savants de corpuscules n'implique pas que ces derniers soient exempts d'une activité spécifique alors que pour le mécanisme la matière est passive. Enfin, le mécanisme en chimie du début du XVIII^e siècle puise aussi son inspiration dans une tradition alchimique³.

Ce livre ne prétend pas s'interroger sur la multiplicité de sens que revêtirait le terme « cartésien » au XVIII^e siècle⁴. Mais l'usage de ce mot pour identifier un ensemble de savants nous paraît souvent tomber dans l'écueil de masquer des différences essentielles de pratiques au sein de la philosophie mécanique ; la physique de Malebranche et son devenir exemplifient le flou entourant cette dénomination et en suggèrent les limites. De fait, l'historiographie nous semble sous-estimer, voire ignorer, l'importance du mécanisme dont Malebranche est à l'origine ; dans tous les cas, elle n'en dresse pas l'histoire.

Ainsi, si Brunet évoque des « cartésiens critiques », ceux, partisans de Malebranche, qu'il oppose à des « cartésiens rigides » ou « intransigeants », il minimise lui-même cette distinction, préférant réunir sous le seul vocable « cartésiens, pour les opposer aux newtoniens », des savants qui, « directement ou indirectement, se rattachaient à Descartes »⁵. Selon Alquié, « pour combattre Descartes, il [Malebranche] reprend l'hypothèse cartésienne de la matière subtile, à laquelle il accorde seulement un rôle de plus en plus grand, et s'appuie sur le principe cartésien selon lequel il ne peut y avoir d'action d'un corps sur un autre que par contact direct »⁶. Ce « mécanisme physique » et les références aux règles du *Discours de la méthode* de Descartes dans *De la recherche de la vérité* témoigneraient « d'un cartésianisme explicite et accepté », et Alquié tend à faire de l'explication malebranchiste de

1 Carolyn Iltis, « The Decline of Cartesianism in Mechanics : the Leibnizian-Cartesian Debates », *Isis*, vol. 64, n° 3, 1973, p. 356-373. Remarquons, toutefois, que la volonté de fonder les phénomènes physiques via le mouvement rectiligne uniforme signifie que seule la conservation de ce mouvement est à l'origine d'une action, ce qui n'exclut pas pour autant une dynamique et ne réduit pas la science cartésienne à une cinématique, voir Gabbey, « Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics », *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 2, 1971-1972, p. 1-67 et Schmit, « Les dynamiques de Jean-Jacques Dortous de Mairan », *Revue d'histoire des sciences*, t. 68-2, 2015, p. 281-309.

2 Rod W. Home, « The Notion of Experimental Physics in Early Eighteenth-Century France », éd. Joseph C. Pitt, *Change and Progress in Modern Science*, Dordrecht, Reidel, 1985, p. 107-131.

3 Lawrence M. Principe (éd.), *New Narratives in Eighteenth-Century Chemistry*, Dordrecht, Springer, 2007, p. 3-11. Sur ces questions, voir aussi Antonio Clericuzio, « A redefinition of Boyle's chemistry and corpuscular philosophy », *Annals of science*, vol. 47, 1990, p. 561-589 ; Clericuzio, *Principles and Corpuscles. A Study of Atomism and Chemistry in the Seventeenth Century*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2000, p. 163-212 ; Joly « L'anti-newtonianisme dans la chimie française au début du XVIII^e siècle », *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, vol. 53, 2003, p. 213-224 ; Joly, « Chimie et mécanisme dans la nouvelle Académie royale des sciences : les débats entre Louis Lémery et Etienne-François Geoffroy », *Methodos. Savoirs et textes*, 8, 2008, <https://methodos.revues.org> ; Joly, *Descartes et la chimie*. Pour une critique des « étiquettes » « cartésiens » et « newtoniens » en s'appuyant sur l'exemple de la chimie de l'académicien des sciences parisien Homberg, voir Principe, « Wilhelm Homberg et la chimie de la lumière », *Methodos, savoirs et textes*, 8, 2008, <https://methodos.revues.org>

4 Sur la multiplicité des formes du « cartésianisme », voir notamment Delphine Kolesnik-Antoine (éd.), *Qu'est-ce qu'être cartésien ?* Lyon, ENS éditions, 2013.

5 Brunet, *L'introduction des théories de Newton*, note 2, p. 93-94.

6 Alquié, *Le cartésianisme de Malebranche*, p. 40.

la cohésion des corps, qui remplace celle de Descartes, la conséquence essentielle du rejet de la force de repos¹. L'abandon de cette force et ses conséquences paraissent aussi minimisés chez Aiton qui considère que Privat de Molières modifierait « la matière première des tourbillons » des tourbillons de Descartes, et critiquerait moins « la structure des tourbillons » que des savants comme Jean (I) et Daniel Bernoulli². Pourtant, comme nous le verrons, Molières remplace par des petits tourbillons les corpuscules durs qui composent les tourbillons célestes de Descartes, et ils lui permettent aussi de repenser l'intégralité de la structure des corps sensibles telle qu'elle apparaît dans les *Principes de la philosophie* ; des changements qui résultent essentiellement de la critique malebranchiste de cette force de repos. Pour sa part, McNiven Hine fonde le mot « Cartonian » à partir de « Cartesian » et « Newtonian » pour caractériser la physique de Dortous de Mairan qui emprunte à la fois aux théories « cartésienne » et « newtonienne ». Mais elle souligne aussi que Mairan est « Cartesian » parce qu'il s'appuie sur une physique du contact et un univers plein³. Or, outre que la définition du néologisme « Cartonian » souffre les mêmes difficultés que les termes à partir desquels il a été forgé, McNiven Hine n'évoque pas l'importance de Malebranche sur la physique de Mairan, et n'explicite donc pas précisément le type de mécanisme à l'œuvre chez ce savant.

Dans son étude consacrée à la réception des théories de Newton sur le continent, Guerlac remet en cause la vision d'un monde scientifique divisé entre deux groupes opposés, les « cartésiens » et les « newtoniens », et évoque l'existence d'une troisième voie (« a midway position ») due à Malebranche. L'historien souligne que pour Malebranche et ceux qu'il nomme les « Malebranchistes » le volet expérimental de l'optique de Newton ferait figure de modèle et, comme déjà évoquée, que la philosophie de la connaissance malebranchiste favoriserait l'adoption de la forme mathématique de la loi de gravitation de Newton et, plus globalement, son entreprise de mathématisation de la nature⁴. Ainsi, « Malebranche et ses partisans [comme Privat de Molières et Dortous de Mairan] ont fait tomber les premières barrières de la forteresse cartésienne, et ont facilité la voie aux newtoniens radicaux comme Maupertuis, Clairaut et Voltaire »⁵. Borghero remet en cause cette thèse d'une voie intermédiaire, voire d'une « réconciliation » entre « cartésiens » et « newtoniens », en remarquant que des savants comme Privat de Molières critiquent vivement Newton et se revendiquent « cartésiens »⁶. Il considère que le travail de Malebranche consiste à « reformuler [...] la théorie cartésienne », et qu'avec Privat de Molières « la primauté du mécanisme en sortait confirmée et Descartes restait solidement sur le trône de la science moderne » ; l'auteur utilise alors l'expression « néo-cartésiens » pour ceux qui modifient le mécanisme de Descartes afin de sauver « le système des *tourbillons* des critiques des newtoniens »⁷.

Au-delà de ces thèses opposées, lorsque Guerlac évoque Malebranche et les « malebranchistes », c'est avant tout à travers le prisme de l'histoire de la réception du « newtonianisme ». De fait, l'auteur ne s'attache pas véritablement aux origines et aux conséquences de la réforme malebranchiste de Descartes, pas plus qu'il ne caractérise en détail les pratiques à l'œuvre dans les travaux de ceux qu'il appelle les « disciples and admirers » ou « followers » de Malebranche. Guerlac note seulement que Malebranche récuse

1 *Ibid.*, p. 29-43.

2 Aiton, *The Vortex Theory*, p. 221.

3 McNiven Hine, « Dortous de Mairan, the 'Cartonian' », p. 179.

4 Guerlac, *Newton on the Continent*, p. 53-73.

5 *Ibid.*, p. 73 : « Malebranche and his followers [comme Privat de Molières et Dortous de Mairan] broke down the initial barriers of the cartesian fortress, and made the way easier for radical Newtonians like Maupertuis, Clairaut, and Voltaire ».

6 Borghero, *Les Cartésiens face à Newton*, p. 103-137. Le mot « reconcile » apparaît notamment chez Guerlac, *Newton on the Continent*, p. 70 et Aiton, *The Vortex Theory*, Chapitre IX.

7 *Ibid.*, p. 106-107.

l'explication de Descartes selon laquelle la cohésion d'un corps résulterait du repos de ses parties et écrit que « en suggérant que le repos est une simple privation du mouvement, Malebranche s'est approché de la position newtonienne selon laquelle repos et mouvement ne sont que des états de la matière ». Il poursuit en estimant que « plus fondamental, peut-être, était sa [Malebranche] modification de la théorie de la matière de Descartes »¹. Mais nous remarquerons, d'une part, que Malebranche réfute que le repos et le mouvement soient deux états équivalents et, d'autre part, que le rejet du concept de force de repos entraîne une révision de la théorie des éléments de Descartes laquelle, en ce sens, n'est donc pas plus fondamentale ; l'abandon de cette force est selon nous une caractéristique essentielle de la physique de Malebranche. Borghero ne donne pas davantage d'examen des causes et des conséquences de la révision du système de Descartes, ni d'étude de la physique de ceux qu'il nomme « néo-cartésiens »². Or, selon nous, Malebranche fait davantage que « reformuler » Descartes et, plus qu'une correction, il s'agit d'une refonte des lois, du système du monde et des mécanismes explicatifs des phénomènes.

L'usage des mots « cartésiens » ou « néo-cartésiens » ne s'accompagne donc pas systématiquement d'examen détaillé de pratiques scientifiques, lesquelles dévoileraient la pluralité des mécanismes au XVIII^e siècle et leurs raisons d'être. Nous verrons que des savants souvent qualifiés de « cartésiens » dans l'historiographie critiquent pour leur part ceux qu'ils appellent eux-mêmes « cartésiens » : ce livre entend les prendre au mot en montrant en quoi leur physique se distingue de celle d'autres, bien que tous inscrivent leurs travaux dans le cadre du mécanisme. Ce parti pris se justifie à l'aune d'études de cas qui montrent l'existence de critiques récurrentes à l'encontre de Descartes et de certains mécanismes, et l'usage de principes, de lois et de méthodes explicatives alternatives communs. Ces éléments permettront alors de dessiner les contours d'une des formes prises par la philosophie mécanique au XVIII^e siècle qu'il faut rattacher à Malebranche³.

PLAN DE L'OUVRAGE

La première partie de ce livre, qui s'attachera aux réflexions de Malebranche sur la force des corps au repos et sur la causalité ainsi qu'à leurs postérités, comprendra trois chapitres.

Le premier chapitre évoquera le concept de force des corps au repos dans l'œuvre de Descartes et donnera quelques éléments sur sa réception dans la deuxième moitié du XVII^e siècle. L'objectif sera d'interroger la signification de ce concept et ses liens avec la force d'inertie pour mieux saisir la portée de la réforme malebranchiste.

Le deuxième détaillera les réflexions de Malebranche sur la cohésion de la matière et sur les règles du choc, deux domaines où Descartes recourt à la force de repos. L'étude, qui s'appuiera essentiellement sur les différentes éditions de *De la recherche de la vérité*, montrera les raisons et les conséquences de l'abandon de cette force. En l'occurrence, ce rejet résulte essentiellement du refus de l'équivalence ontologique entre les états de repos et de mouvement de la matière présente chez Descartes, et il entraîne la formulation d'une nouvelle loi de la nature se substituant à la première loi des *Principes de la philosophie*. Puisque, pour Descartes, cette loi de persistance du mouvement fonde l'action des corps entre eux, pour

1 Guerlac, *Newton on the Continent*, p. 62 : « in suggesting that rest is a mere privation of motion, he [Malebranche] came close to the Newtonian position that rest and motion are merely "states" of matter » ; « more fundamental, perhaps, was his [Malebranche] modification of Descartes's theory of matter ».

2 Même constat pour Shank, « There Was no such Thing as the 'Newtonian Revolution' » et Shank, *The Newton Wars*.

3 Cela ne signifie pas pour autant que de ces caractéristiques nous feront définir un ensemble de savants susceptibles d'être dénommés « malebranchistes ». Au-delà de la question de ce qui fait l'identité d'un groupe, il s'agit pour nous plus modestement de donner à voir l'existence de pratiques scientifiques communes – des principes, des lois et des méthodes identiques – dont l'origine est à chercher dans *De la recherche de la vérité*.

Malebranche cette action ne se conçoit qu'à travers le mouvement. On remarquera alors que Malebranche ne conceptualise pas la force d'inertie.

Le dernier chapitre portera sur « l'occasionalisme physique » dans le premier XVIII^e siècle et sur la réception des thèses de Malebranche au sujet de la force de repos. L'analyse d'un ensemble de textes relatifs à la métaphysique du mouvement, aux chocs des corps, et encore à la cohésion des corps attestera que la théorie occasionaliste s'avère répandue dans le milieu savant français. Elle prouvera aussi que le rejet du concept cartésien est partagé, discuté ou critiqué. Des savants font alors un lien direct entre la critique de Malebranche et l'absence de conceptualisation de l'inertie dans son œuvre, absence qu'ils dénoncent, tandis que d'autres s'appuient sur l'argumentation malebranchiste pour remettre en cause les concepts d'inertie de Leibniz et de Newton. On remarquera que les réflexions autour de cette inertie, qu'elles soient menées par des occasionalistes ou non, exemplifient un contexte de crise de la causalité conduisant à des prises de positions sur les fondements de la physique qui rejoignent celles de D'Alembert.

La deuxième partie concerne la théorie des petits tourbillons et se composera de cinq chapitres.

Le premier concernera le système des petits tourbillons de Malebranche, l'importance du rejet de la force de repos pour cette nouvelle théorie mécanique, son « principe général » – à savoir l'équilibre entre eux des petits tourbillons de la matière subtile –, les lois qui la régissent, les propriétés de cette matière subtile, les méthodes explicatives mises en place. Il s'attachera aussi aux lectures malebranchistes de la physique de Descartes en notant le caractère lacunaire de la révision entreprise par Malebranche du système de son aîné, le philosophe ne revisitant notamment pas la cosmogonie cartésienne et n'expliquant qu'un nombre restreint de phénomènes.

Les chapitres qui suivront porteront tous sur la théorie des petits tourbillons au XVIII^e siècle. Dans le deuxième chapitre, nous recenserons les différentes preuves apportées afin de justifier l'existence de cette matière subtile sous la forme de petits tourbillons. Celles-ci peuvent prendre pour point de départ le mécanisme de Descartes dont des savants soulignent certaines limites qui appellent alors à des modifications : ainsi, sont dénoncées des erreurs de « méthodes » chez Descartes comme l'introduction d'un concept superflu – la force de repos – dont les effets devraient être expliqués mécaniquement ; des défauts dans ses interprétations de phénomènes (en optique, en particulier) ; l'incompatibilité de sa force de repos et de sa théorie de la matière avec l'expérience. Est affirmé aussi le fait que la matière sous la forme de petits tourbillons, et seulement sous cette forme, entreprendrait le mouvement dans le monde tandis que les corps durs présents dans l'œuvre de Descartes conduiraient au repos à force de collisions. On notera, outre ces preuves qui se placent dans le cadre du mécanisme, que des savants fondent le système des petits tourbillons à partir de propositions de mécanique rationnelle admises par la communauté scientifique (lois des chocs sur des plans inclinés, lois de frottements). Par ailleurs, ces tourbillons permettraient de lever les difficultés formulées par Newton à l'encontre des grands tourbillons de Descartes. Ils s'inscrivent aussi dans une épistémologie proposant une approche systémique de la nature qui, bien que considérant qu'un système est amendable, affirme que ces tourbillons correspondraient à un degré supplémentaire de perfection de la philosophie mécanique, voire son degré ultime. Nous détaillerons aussi toutes les propriétés de cette matière subtile, lesquelles interviennent dans les explications des phénomènes physico-chimiques, propriétés qui définissent celles de la matière sensible qui les possède à un degré moindre de perfection.

Le troisième chapitre portera sur les théories de la matière formulées dans le cadre de ce nouveau mécanisme. Il y sera alors question des différentes thèses sur la nature du feu et de la lumière, des travaux sur la calcination des métaux, des explications des états de la matière (solide, liquide, fluide), des mécanismes de réactions chimiques. Il s'agira aussi de rendre

compte des critiques radicales dont les théories de la matière de Descartes et de ceux dits « cartésiens » font l'objet. Ces critiques dénoncent l'usage de « faux principes » – comme la force de repos –, soulignent, comme déjà évoqué, que seuls les petits tourbillons assurent la persistance du mouvement, et reposent aussi sur des observations et des expériences qui rendraient manifeste le caractère déficient des théories rejetées. Par ailleurs, des travaux de « newtoniens » se voient aussi dénoncés et réinterprétés dans ce nouveau mécanisme.

Le quatrième détaillera le rôle joué par les petits tourbillons dans les collisions, dans la pesanteur des corps sensibles, dans les lois et les phénomènes de l'optique, dans le magnétisme et l'électricité.

Systématiquement, dans ces deux chapitres, l'examen précis des mécanismes proposés par les savants mettra en évidence l'existence de principes, de lois et de méthodes récurrents dont on soulignera les liens avec ceux de Malebranche. Nous expliciterons aussi les rapports entretenus entre la théorie des tourbillons, l'expérience et la mathématisation de lois, et noterons que s'appuyer sur Malebranche ne signifie pas suivre à la lettre le contenu de *l'Éclaircissement XVI* de *De la recherche de la vérité*.

Enfin, le dernier chapitre recensera les critiques menées à l'encontre de cette théorie des petits tourbillons, qu'elles soient l'œuvre de savants menant leurs travaux dans le cadre du mécanisme ou bien d'autres se revendiquant « newtoniens ». On distinguera trois types de critiques : des critiques théoriques qui visent les fondements de ce système, notamment la formation des petits tourbillons et leur équilibre, les propriétés de la matière subtile, qui dénoncent aussi des incohérences internes au système et en particulier certaines propositions entre elles, qui réfutent enfin certaines explications de phénomènes ; d'autres de nature expérimentale ; certaines, plus générales, sur la notion même de système, courantes au XVIII^e siècle, et auxquelles cette théorie n'échappe pas.

Le *corpus* analysé dans ces deux parties se composera essentiellement de documents imprimés prenant surtout la forme de textes de nature académiques tels que des livres, des cours et des mémoires de membres de l'Académie royale des sciences de Paris, ou bien encore des réponses à des prix sur des questions particulières (la calcination des corps, la nature du feu, celle de la lumière, la cause des phénomènes magnétiques et électriques, la chute des corps etc.) proposées par diverses Académies (Paris, Bordeaux, Saint-Pétersbourg). L'étude de quelques manuscrits originaux, qui refléteront des débats au sein d'institutions (les académies de Lyon) autour de la réforme malebranchiste de Descartes, compléteront ces documents.

Nous remercions le SYRTE (Système de Référence Temps-Espace) de l'Observatoire de Paris pour avoir fourni un cadre idéal à la rédaction de ce travail et pour le soutien financier accordé à sa publication.

Nous remercions également le Groupe D'Alembert pour son soutien, en particulier Pierre Crépel, Hugues Chabot et Fabrice Ferlin qui ont contribué à un moment ou à un autre à enrichir ce texte.

PREMIERE PARTIE

FORCE D'INERTIE ET CAUSALITE

LA « FORCE POUR DEMEURER AU REPOS » DE DESCARTES

INTRODUCTION

L'affirmation, véritable leitmotiv dans l'œuvre scientifique de Malebranche, selon laquelle un corps au repos n'a pas de force se veut une critique adressée à l'encontre de la mécanique de Descartes¹. Saisir le sens de la formule malebranchiste requiert de spécifier les contours de la « force pour demeurer au repos » introduite par Descartes. A cette fin, ce chapitre évoque les fondements sur lesquels Descartes fait reposer ce concept, examine le rôle qu'il lui fait jouer dans sa mécanique en particulier dans l'étude des chocs, et donne des éléments sur sa réception chez quelques savants de la seconde moitié du XVII^e siècle. L'ensemble de ce *corpus* permettra d'interroger les liens entretenus entre cette force et l'inertie, de mieux mesurer la portée de la réforme de Malebranche au regard des concepts et des lois de la mécanique classique, et de contextualiser les réflexions de l'oratorien tout en mettant en pleine lumière leur originalité.

LOIS DE LA NATURE, INERTIE, « SOLIDITE » ET « AGITATION »

La première « règle » ou « loi de la nature » présente dans *Le Monde* et les *Principes* énonce la persistance de la matière dans son « état » et en particulier, en l'absence de collisions, la permanence du mouvement et du repos d'un corps :

chaque chose en particulier ... continuë d'estre en mesme estat autant qu'il se peut, & [...] jamais elle ne le change que par la rencontre des autres [corps]. Ainsi nous voyons tous les jours, lors que quelque partie de cette matiere est quarrée, ... qu'elle demeure tous-jours quarrée, s'il n'arrive rien d'ailleurs qui change sa figure ; & que si elle est en repos, ... elle ne commence point à se mouvoir de soy-mesme. Mais lors qu'elle a commencé une fois de se mouvoir, nous n'avons aussi aucune raison de penser qu'elle doive jamais cesser de mouvoir de mesme force ..., pendant qu'elle ne rencontre rien qui retarde ou qui arreste son mouvement².

Cette loi résulte de ce que « Dieu n'est point sujet à changer, & qu'il agit tous-jours de mesme sorte »³, ce mode d'action donnant son origine à une conservation de quantités globales de mouvement et de repos dans l'univers, malgré la multiplicité des chocs qui s'y rencontrent⁴, conservation précisant aussi le comportement particulier d'un corps ou d'un système de deux corps en interaction.

Sur ce même fondement Descartes énonce dans ses *Principes* une deuxième loi stipulant que :

chaque partie de la matiere, 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, pource qu'elles en rencontrent d'autres en leur chemin, & que ..., lors qu'un corps se meut, il se fait tous-jours un cercle ou anneau de toute la matiere qui est meuë ensemble⁵.

1 Cette critique est examinée dans le Chapitre II de cette Partie I.

2 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 37, p. 84. Pour la première « règle », voir *Le Monde*, AT XI, p. 38.

3 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 37, p. 84.

4 *Ibid.*, art. 36, p. 83 : « Dieu [...] a créé la matiere avec le mouvement & le repos, & [...] conserve maintenant dans l'univers, par son concours ordinaire, autant de mouvement & de repos qu'il y en a mis en le creant ».

5 *Ibid.*, art. 39, p. 85-86. Voir la troisième « règle » dans *Le Monde*, AT XI, p. 43-44. Pour la première et la deuxième loi des *Principe* et pour les règles dans *Le Monde*, leur fondement par le recours à la constance de l'action divine, la

L'étendue est la substance de la matière qui, en vertu de ce principe de persistance dans un état, est passive : un corps ne se met pas spontanément en mouvement, il n'a aucun principe interne à l'origine d'un changement que seule sa rencontre avec d'autres corps peut provoquer¹.

Le Monde et les *Principes* utilisent l'expression « force de mouvement » ; les *Principes* introduisent la « force de repos »². Ces « forces » caractérisent la capacité d'un corps à conserver son état, et Descartes les relie à loi de persistance d'un état :

la force dont un corps agit contre un autre corps ou résiste à son action, consiste en cela seul, que chaque chose persiste autant qu'elle peut à demeurer au mesme estat où elle se trouve, conformément à la première loy [...] De façon qu'un corps qui est joint à un autre corps, a quelque force pour empêcher qu'il n'en soit séparé ; & que, lors qu'il en est séparé, il a quelque force pour empêcher qu'il ne luy soit joint ; & aussi que, lorsqu'il est en repos, il a de la force pour demeurer en ce repos & ... pour résister à tout ce qui pourroit le faire changer. De mesme que, lorsqu'il se meut, il a de la force pour continuer de se mouvoir avec la mesme vitesse & vers le mesme costé³.

Repos et mouvement sont ontologiquement équivalents et les forces associées résultent de la volonté divine et de la création continuée⁴. Dieu maintient également ces états à chaque instant⁵ ce qui fonde la possibilité d'une action et d'une résistance. Cette dernière existe donc dans la métaphysique cartésienne, comme la conséquence d'une loi de conservation. Elle joue aussi un rôle dans les explications physiques, notamment pour la cohésion des corps évoquée dans la citation ci-dessus ainsi que dans les règles du choc⁶.

Selon Descartes, « il n'est pas requis plus d'action pour le mouvement que pour le repos »⁷. Un « préjugé » conduit à penser qu'il faut plus « d'action », « d'effort », de « force » pour « produire un mouvement que pour l'arrêter », mais ce sentiment résulte d'une absence de perception de la pesanteur et de plusieurs autres causes s'opposant aux mouvements de nos membres. Ainsi, la mise en mouvement nécessite autant d'effort que la mise au repos et « nous ne faisons pas seulement quelque effort pour mouvoir les corps qui sont proches de nous, [...] nous en faisons aussi pour arrêter leurs mouvemens, lors qu'ils ne sont point amortis ... par quelque autre cause ». Par exemple, « nous n'employons pas plus d'action, pour faire aller, par exemple, un bateau qui est en repos dans une eau calme, & qui n'a point de cours, que pour l'arrêter tout à coup pendant qu'il se meut »⁸. Qu'il faille autant d'efforts dans l'un et l'autre cas implique que l'agent rencontre autant de résistance. Or, celle-ci

quantification de ce qui se conserve, voir notamment Daniel Garber, *La physique métaphysique de Descartes*, PUF, Paris, 1999, p. 303-349 et p. 421-438.

- 1 Roux distingue trois sens pour rendre compte de la formule « la matière est active » : 1/cela signifie simplement qu'elle est susceptible de mouvement, de mettre en mouvement et de conserver ce mouvement. La passivité peut alors être liée pour certains (Gassendi, Newton) à l'idée d'une « force passive » qui exprime la capacité à recevoir et à conserver un mouvement ; 2/la matière n'est pas seulement passive mais obéit à des principes actifs sans lesquels le mouvement se perdrait dans ce monde (Newton) ; 3/l'activité renvoie à une matière vivante, animée. Voir Roux, *La philosophie mécanique*, p. 104-113 et en particulier cette dernière page.
- 2 Cette « force de repos » n'interviendrait pas avant 1640, voir Gabbey, « Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics », p. 24. Descartes écrit qu'« il est certain que, de cela seul qu'un cors a commencé à se mouvoir, il a en soy la force de continuer à se mouvoir ; ainsi que, de cela seul qu'il est arrêté en quelque lieu, il a de la force de continuer à y demeurer », lettre de Descartes à Mersenne du 28 octobre 1640, AT III, p. 213. Roux, *La philosophie mécanique*, p. 414 interprète l'apparition de cette notion par « le refus de la notion d'inertie » au sens de Kepler. Pour cette inertie képlérienne, voir dans le présent chapitre.
- 3 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 43, p. 88.
- 4 Gueroult, « Métaphysique et physique de la force chez Descartes et Malebranche », n°1, p. 2-3.
- 5 Concernant ce maintien de l'état en l'instant, Descartes écrit que Dieu conserve le mouvement par « une opération tres-simple » : « il ne le conserve pas comme il a pû estre quelque temps auparavant, mais comme il est précisément au même instant qu'il le conserve », *Principes*, II, AT IX, art. 39, p. 86.
- 6 Le rôle de cette force dans la cohésion de la matière est abordé dans la Partie I, Chapitre II.
- 7 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 26, p. 77.
- 8 *Ibid.*

provient de la loi de persistance des états, soit des forces de repos et de mouvement : ces dernières, introduites pour des corps précisément en repos et mouvement, se voient ici associées au processus permettant l'obtention de deux états. Bien qu'évaluer ces deux forces par des changements d'état serait sans doute trop tirer les conceptions d'action et de résistance cartésiennes du côté de la mécanique newtonienne, en l'occurrence mesurer une force par une variation de mouvement, ce passage des *Principes* contient pourtant une telle potentialité¹.

Reconnaissant le repos et le mouvement comme deux états équivalents de la matière, Descartes s'attache à la recherche de la cause du changement d'un état, non à celle de sa continuation, s'opposant en cela aux thèses d'inspiration scolastiques ou de Kepler². Il rejette le concept d'inertie de Kepler selon lequel un corps est inerte en ce sens qu'il ne possède pas de tendances propres lui faisant changer de « lieu naturel », mais aussi parce qu'il faut un agent externe ou interne pour causer et entretenir son mouvement :

tout corps matériel est, en lui-même et par nature, immobile et destiné au repos, dans quelque lieu qu'il soit. Car le repos, de même que les ténèbres, est une espèce de privation, qui n'exige pas de création, mais appartient aux choses créées comme une certaine trace du néant ; le mouvement, par contre, est quelque chose de positif comme la lumière. Ainsi, si la pierre se meut localement, elle ne le fait pas en tant qu'elle est matérielle, mais en tant qu'elle [est corps, c'est-à-dire, elle se meut soit en tant qu'elle] est poussée ou attirée extrinsèquement par quelque chose, soit en tant qu'elle est douée intrinsèquement d'une certaine faculté de tendre vers quelque chose³.

Le corps résiste car il tend spontanément au repos. Ainsi, « la terre est inerte au mouvement, et elle [lui] résiste [...] mais tous les corps sont tels dans la mesure [où ils sont] des corps » ; « la matière en laquelle consiste le plus la Terre, est propre à l'inertie, répugnant au mouvement et cela d'autant plus fortement que l'abondance de matière est resserrée dans un étroit espace »⁴. Pour sa part, subordonnée à un principe de conservation du mouvement, l'« inertie » au sens de Descartes se définit doublement :

je tiens qu'il y a une certaine Quantité de Mouvement en toute la Matière créée, qui n'augmente, ny ne diminue jamais ; et ainsi, que, lors qu'un corps en fait mouvoir un autre, il perd autant de son mouvement qu'il luy en donne : comme, lors qu'une pierre tombe d'un lieu haut contre terre, si elle ne retourne point, & qu'elle s'arreste, je conçois que cela vient de ce qu'elle ébranle cette terre, & ainsi luy transfere son mouvement ; mais si ce qu'elle meut de terre contient mille fois plus de matière qu'elle, en luy transférant tout son mouvement, elle ne luy donne que la milliesme partie de sa vitesse. Et pour ce que, si deux cors 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 quoy on peut adjoindre qu'un cors, qui est grand, peut mieux transférer son mouvement aux autres cors, qu'un petit, & qu'il peut moins estre mû par eux. De façon qu'il y a une sorte d'*Inertie*, qui dépend de la quantité de la matière, & une autre qui dépend de l'estenduë de ses superficies⁵.

-
- 1 Sur ce point et pour quelques éléments sur l'héritage cartésien dans la mécanique newtonienne, voir le présent chapitre.
 - 2 En conséquence de la loi de persistance du mouvement, Descartes écrit que « nous sommes exempts de la peine où se trouvent les Doctes, quand ils veulent rendre raison qu'une pierre continuë de se mouvoir quelque temps après hors de la main de celui qui l'a jettée : car on nous doit plutôt demander, pourquoi elle ne continuë pas toujours de se mouvoir ? », *Le Monde*, AT XI, p. 41. Voir aussi Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 38, p. 85.
 - 3 Voir Johannes Kepler, *In Commentaria de Motibus Martis, Opera omnia*, éd. C. Frisch, vol. III, Francfort, Erlangen, Heyder et Zimmer, 1860, p. 459, cité et traduit par Alexandre Koyré, *Etudes galiléennes*, Paris, Hermann, 1966, p. 191-192 ; voir *Etudes galiléennes*, p. 187 pour l'inertie keplérienne.
 - 4 Voir Kepler, *Epitome Astronomiæ Copernicanæ, Opera Omnia*, vol. VI, 1866, p. 113-530. Citations venant de la traduction *Abrégé d'astronomie copernicienne*, éd. Jean Peyroux, Paris, A. Blanchard, 1998, p. 102 et p. 113.
 - 5 Lettre de Descartes à Debeaune, 30 avril 1639, AT II, p. 543-544 et propos semblables dans la lettre au Marquis de Newcastle, avril 1648, AT V, p. 135-136. Voir aussi *Le Monde*, AT XI, p. 69 : « plus un corps est gros, plus il luy est facile de communiquer une partie de son mouvement aux autres corps, & plus il est difficile aux autres de luy communiquer quelque chose du leur ».

Descartes ne reconnaît « aucune Inertie ou tardivité naturelle dans les cors »¹. Suivant sa quantité de matière, le corps prend ou cède plus ou moins facilement un mouvement, de même que suivant sa superficie puisqu'il présente au milieu dans lequel il baigne une plus ou moins grande surface de contact². Le terme se pense à travers un principe de conservation du mouvement sans qu'il faille le rattacher à une résistance naturelle au mouvement : « pour l'*inertie* [...] en un espace qui n'est point du tout empeschant, si un corps d'une certaine vitesse, en rencontre un autre qui lui soit égale en grandeur, & qui n'ayt point de mouvement, il luy communiquera la moitié du sien, ensorte qu'ilz iront tous deux ensemble de la moitié aussy viste que le faisoit le 1^{er} [...] Et generalement, plus les corps sont grands, plus ilz doivent aller lentement, lors qu'ilz sont poussez par une mesme force »³. Par conséquent, « ce qui est fondamental ici, ce n'est pas la force supposée de l'inertie mais la *loi*, la contrainte du mouvement qui dérive non pas de la matière elle-même, mais directement de l'activité constante de Dieu dans le monde, conservant la même quantité de mouvement dans le monde comme il l'a créé au commencement »⁴.

La prise en compte de ces deux éléments – la « quantité de matière » et « l'étendue des superficies » – peut être rapprochée de la notion de « solidité » ou « massivité » présente dans les *Principes*. Bien qu'introduite dans un contexte cosmologique, la « solidité » ressortit à une question de portée plus générale où « il s'agit de comprendre qu'une même force produise des effets différents sur des corps qui paraissent avoir une même quantité de matière, et par conséquent de construire une mesure de la matérialité distincte de la mensuration géométrique de l'étendue, alors que pourtant matière et étendue géométrique sont principalement identiques »⁵. Cette « mesure », ne remettant pas en cause la thèse selon laquelle l'essence de la matière est l'étendue, relève probablement d'une tentative d'explication de données de l'observation liées à la mobilité de corps dans des fluides⁶ : dans quelle mesure cette « solidité » peut être associée aux propriétés inertielles de la matière ?

Le « ciel » d'une étoile se découpe en deux grandes zones : de l'astre jusqu'à une sphère limite les corpuscules du second élément qui composent les tourbillons célestes s'étagent en ordre décroissant selon leurs vitesses et croissant selon leurs « grosseurs » ; de cette sphère aux bordures du ciel de l'étoile, les corpuscules sont d'égale « grosseur » et leurs vitesses croissent⁷. Descartes justifie notamment par la forme irrégulière du tourbillon de l'astre la plus grande vitesse des corpuscules les plus éloignés du centre de révolution (art. 83, p. 149). Par son mouvement, le soleil augmente la vitesse de la matière du ciel car « il doit entraîner avec soy toute la matiere du Ciel qui est autour de luy, jusques à une certaine distance » qui définit la sphère limite (art. 84, p. 150). Dans cette zone, les parties du second élément plus

1 Lettre de Descartes à Mersenne, Décembre 1638, AT II, p. 466.

2 Descartes relie aussi la superficie à la quantité de matière d'un corps, voir *infra*.

3 Lettre de Descartes à Mersenne, 25 Décembre 1639, AT II, p. 627.

4 Garber, *La physique métaphysique de Descartes*, p. 385.

5 Roux, *La philosophie mécanique*, p. 434. Dans *Le Dictionnaire de l'Académie Française*, Veuve J.-B. Coignard, Paris, 1694, t. II, p. 485, « solide » renvoie à « ce qui a de la consistance, & dont les parties demeurent naturellement dans la mesme situation. Il est opposé à fluide ». Par ailleurs, « il signifie aussi ce qui est extrêmement compacte & serré dans ses parties. En ce sens il est opposé à Poreux ». Dans son *Dictionnaire*, Antoine Furetière évoque cette opposition du solide au liquide et donne pour synonyme « massif » lequel « se dit de ce qui est plein au dedans, & de ce qui a quelque epaisseur & solidité. Ce bastion n'est pas creux, il est tout plein, tout massif ». Voir « Massif » et « Solide », dans *Dictionnaire Universel*, La Haye, Rotterdam, A. et R. Leers, 1690, tomes II et III, p. 475 et p. 557. Cet aspect se retrouve chez Descartes mais n'épuise pas le sens attribué par le philosophe au mot « solidité ».

6 Desmond M. Clarke, « The Impact Rules of Descartes' Physics », *Isis*, 1977, 68, n°1, p. 59 : « Descartes is evidently trying to come to terms with our experience of moving very dense objects and the exertion this requires, and also our experience of moving objects with more or less facility in fluids of differing viscosities » (« Descartes s'efforce de concilier notre expérience du déplacement d'objets très denses et l'effort que cela exige, ainsi que notre expérience du déplacement d'objets avec plus ou moins de facilité dans des fluides de viscosités différentes »).

7 Descartes, *Principes*, III, AT IX, art. 82, p. 148. Les Chapitres II et III de la Partie II de ce livre évoquent les éléments de Descartes. Rappelons, pour l'instant, que les tourbillons célestes se composent de corpuscules dits du second élément qui transmettent la lumière et que le troisième élément correspond à la matière sensible.

proches du soleil sont les plus petites « car si elles estoient plus grosses ou égales, elles iroient au dessus des autres, à cause que ce qu'elles ont de vitesse plus que ces autres, leur feroit avoir plus de force » (art. 85, p. 150-151). Un tourbillon peut être détruit par ses voisins et alors l'étoile qui résidait en son centre devenir une planète (art 115, p. 169-170). Par son mouvement, la matière du ciel « tend à s'[...] éloigner » de son centre de révolution et, entraînant l'astre, elle lui donne « quelque force pour s'écarter du centre » : si cet astre a « fort peu de solidité, il doit descendre fort bas » vers ce centre, ou bien, « s'il en a beaucoup », il doit s'en éloigner (art 120, p. 174)¹. Ces mouvements centripètes et centrifuges reposent sur une comparaison de « forces » : en supposant l'astre « moins solide » ou ayant « moins de force pour continuer son mouvement en ligne droite, que les parties du second element » localisées vers la circonférence du ciel, mais plus solide que ces parties situées vers le centre de révolution, cet astre descend vers ce centre jusqu'à un endroit où ces parties possèdent autant « de force que luy à perseverer en leur mouvement » (art 140, p. 191). Descartes écrit aussi que par le mouvement « en rond » l'astre doit « estre poussé par elle [la matière du tourbillon] vers le centre de ce mouvement circulaire, pendant qu'il a en soy moins d'agitation que les parties de cette matiere qui le touchent » (art 119, p. 173). En supposant que l'astre s'approche trop du centre, les parties du tourbillon sont plus petites et « par consequent luy cederoient en force », mais étant aussi plus « agitées », elles « augmenteroient aussi son agitation & ensemble sa force » et le feraient remonter (art 140, p. 191-192). « Solidité » et « agitation » constituent deux indications d'une « force » à persévérer en un mouvement ; précisons le sens de ces notions.

La « solidité » de cet astre correspond à « la quantité de la matiere du troisieme element [...] en tant qu'elle est comparée avec l'estenduë de [sa] superficie, & la grandeur de l'espace qu'occupe cet astre ». La « force » dont la matière du tourbillon emporte l'astre doit être estimée par la « grandeur des superficies qu'elle rencontre [...] à cause que, d'autant que ces superficies sont plus grandes, il y a d'autant plus grande quantité de cette matiere qui agit contre luy ». Cette « force » dont cette matière céleste fait descendre l'astre vers le centre de révolution se mesure aussi par « la grandeur » de l'espace occupé par la matière du corps, ce volume correspondant à celui de la matière céleste qui agit effectivement sur l'astre (art. 121, p. 174).

Par ailleurs, des « pièces d'or, de plomb, ou d'autre métal », en comparaison à d'autres en « bois » ou « pierre » de même grandeur et figure, « conservent bien plus leur agitation, & ont beaucoup plus de force à continuer leur mouvement [...] ce qui fait que nous jugeons qu'elles sont plus solides ; c'est à dire que ces metaux ont en eux plus de la matiere du troisieme element, & moins de pores qui soient remplis de celle du premier ou du second » (art 122, p. 175). Ainsi, un corps plus « solide » qu'un autre contient plus de matière du troisième élément (et moins de pores) et, alors, a une plus grande capacité à poursuivre son mouvement rectiligne ; il conserve davantage son « agitation » à savoir « la force [...] qu'il acquiert pour continuer à estre ainsi transporté, ou bien à se mouvoir » (art. 121, p. 174). Dans cet exemple, Descartes fixe deux paramètres, la grandeur et la figure, qui interviennent aussi dans cette notion de « solidité ». La première importe car, bien qu'en or, une petite boule possède « moins de force à continuer son mouvement qu'une autre beaucoup plus grosse » de bois ou de pierre (art 122, p. 175), parce qu'elle contient moins de matière du troisième élément que celles-ci. Malgré tout, un astre peut avoir « moins de solidité ou moins de force à continuer son mouvement, que les petites boules du second element qui l'environnent, nonobstant qu'il soit fort gros » (art. 123, p. 175) : à elle seule cette grosseur ne suffit pas pour rendre compte de cette force, et Descartes tient aussi compte de la figure du mobile. Celle-ci intervient doublement. D'une part, elle peut rendre compte de la quantité de matière présente dans un

1 Pour cet « effort pour s'éloigner du centre » voir dans le présent chapitre.

corps : pour deux corps de volume donné, celui de figure sphérique « contient le plus de matière sous une moindre superficie » que l'autre et a ainsi plus de force pour continuer son mouvement (art. 123, p. 176). Ainsi, les « petites boules sont aussi solides qu'aucun corps de même grandeur sauroit être, d'autant que nous ne supposons point qu'il y ait en elles aucuns pores qui doivent être remplis de quelque autre matière ..., & que leur figure est sphérique » (art. 123, p. 175-176) ; ceci permet de justifier que les petites boules du second élément puissent avoir plus de force qu'une planète cependant plus grosse ; il faut en effet comparer la capacité qu'a le volume occupé par le troisième élément de continuer son mouvement à celle d'un même volume du second élément susceptible de venir prendre sa place (art. 121, p. 174). D'autre part, la figure joue un rôle parce qu'une plus grande superficie offre davantage de zones de contacts et donc d'actions résistantes au milieu extérieur : la force dont la matière d'un tourbillon emporte un astre « doit être estimée par la grandeur des superficies qu'elle rencontre [...] à cause que, d'autant plus que ces superficies sont plus grandes, il y a d'autant plus de matière qui agit contre luy » (art. 121, p. 174). Ainsi, bien qu'en bois et plus petite qu'un lingot d'or, une boule peut cependant être « capable de plus d'agitation » selon que ce lingot a « plus de superficie, à raison de la quantité de sa matière ..., que n'en a cette boule de bois » ; tel est le cas si en effet on « le [le lingot] tiroit en filets forts deliez, ou si on le battoit en feuilles fort minces, ou si on le rendoit plein de pores ou petits trous semblables à ceux d'une éponge » (art. 122, p. 175). Conséquemment, pour deux mobiles de même volume et de même quantité de matière, celui qui possède la plus petite surface persiste davantage dans son mouvement ; à figures et volumes identiques, la quantité de matière fait la différence. L'« agitation » est la tendance de l'astre à continuer son mouvement selon une droite, laquelle dépend uniquement de la quantité de matière du troisième élément qui constitue le mobile : l'agitation d'un astre « ne doit pas être mesurée par la grandeur de sa superficie, ny par la quantité de toute la matière dont il est composé, mais seulement par ce qu'il y a en luy, ou autour de luy, de la matière du troisième élément, dont les petites parties [qui le composent] se soutiennent & demeurent jointes les unes aux autres » (art. 121, p. 174). *Le Monde* précise la distinction entre « solidité » et « agitation » :

cette force [de continuer le mouvement en ligne droite] ne dépend pas seulement de la quantité de la matière qui est en chaque corps, mais aussi de l'étendue de sa superficie. Car, encore que, lors que deux corps se meuvent également vite, il soit vray de dire que, si l'un contient deux fois autant de matière que l'autre, il a aussi deux fois autant d'agitation : ce n'est pas à dire pour cela, qu'il ait deux fois autant de force à continuer de se mouvoir en ligne droite ; mais il en aura deux fois autant, si avec cela sa superficie est justement deux fois aussi étendue, à cause qu'il rencontrera toujours deux fois autant d'autres corps, qui luy feront résistance ; & il en aura beaucoup moins, si sa superficie est étendue beaucoup plus de deux fois¹.

La « solidité » renvoie ainsi à ces deux inerties précédemment évoquées dans la lettre à Debeaune. Tentative pour exprimer la persistance d'un mouvement par la matérialité, la « solidité » ne se réduit cependant pas à la prise en compte de la seule matière brute, soit la quantité de matière, son estimation passant aussi par la superficie et le volume des corps. Ces dernières interviennent, d'une part, à cause de leurs liens avec la quantité de matière propre au corps puis, d'autre part, parce que la solidité inscrit le corps dans un univers plein où se produisent des contacts. En ce sens, « solidité » et « agitation » rendent déjà compte du lien étroit entre la loi de persistance et « la force d'agir ». L'agitation, telle qu'évoquée dans la citation précédente, renvoie finalement à cette quantité du mouvement introduite par Descartes dans ses règles du choc où l'effort d'un corps sur un autre dépend de la loi de persistance.

1 Descartes, *Le Monde*, AT XI, p. 66-67.

LA « FORCE D'AGIR » ET LA REGLE 4 DES CHOCS

Le mot « force » peut renvoyer simplement au « mouvement » et à son intensité. Ainsi un corps se meut « avec une égale force » s'il conserve sa vitesse : si une partie de la matière a commencé à se mouvoir, « elle continuera toujours avec une égale force, jusques à ce que les autres l'arrestent ou la retardent »¹. Il intervient aussi dans des situations où la permanence n'a plus lieu : il ne faut pas « une force plus grande & plus d'action pour produire un mouvement que pour l'arrester »². Ou bien encore, dans l'énoncé de son principe de statique, Descartes écrit que « la mesme force qui peut lever un poids, par exemple de cent livres a la hauteur de deux pieds, en peut aussy lever un de 200 livres, a la hauteur d'un pied, ou un de 400 a la hauteur d'un demi pied, & ainsy des autres » ; Descartes remplace aussi, dans cet énoncé, le mot « force » par celui d'« action »³. Bien que cette dernière puisse revêtir différents sens⁴, les exemples précédents associent force/action à un changement d'état.

Les collisions provoquent des modifications de mouvements et l'analyse du choc proposée par Descartes repose sur « la force dont un corps agit contre un autre » ou celle avec laquelle il « resiste à » afin de déterminer l'issue de l'interaction⁵. Ces « forces » tirent leur origine de la loi de persistance qui seule garantit la possibilité d'une action⁶. Quelle relation Descartes énonce-t-il entre la force et le changement d'état ? La « troisième loi » des *Principes* stipule que « si un corps qui se meut & qui en rencontre un autre, a moins de force, pour continuer de se mouvoir en ligne droite, que cét autre pour luy resister, il perd sa détermination ... sans rien perdre de son mouvement ; & [...] s'il a plus de force, il meut avec soy cét autre corps, & perd autant de son mouvement qu'il luy en donne »⁷. Reposant sur une loi de conservation du mouvement, la loi précise les modalités de son transfert en faisant intervenir une comparaison de forces, celles pour « continuer de se mouvoir » et pour « résister » : l'inégalité des

- 1 *Ibid.*, p. 38. Voir p. 11 : « la vertu ou la puissance de se mouvoir soy-mesme, qui se rencontre dans un corps, peut bien passer tout ou partie dans un autre, et ainsi n'estre plus dans le premier, mais [...] elle ne peut pas n'estre plus du tout dans le monde » ; cette « puissance » est le mouvement qui perdure et se transmet d'un corps à l'autre. Voir aussi Descartes, *Principes*, II, AT IX, art 37, p. 84 et art. 40, p. 86-87 avec la « force [...] pour continuer de se mouvoir en ligne droite ». Voir la lettre de Descartes à Mersenne, 17 novembre 1641, AT III, p. 451 : « le mouvement, ou la force à se mouvoir, [est] une quantité qui n'augmente jamais ny ne diminue, mais qui se transmet d'un corps en un autre » ; lettre de Descartes à Mersenne, 17 novembre 1642 où un corps se meut « par la force qu'on a imprimé en luy, en le poussant en sorte que la cause qui a commencé à le mouvoir n'agisse plus », AT II, p. 592-593.
- 2 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 26, p. 77.
- 3 Lettre de Descartes à Constantin Huygens du 5 octobre 1637, AT I, p. 435-436, où Descartes écrit que « s'il est nécessaire d'employer l'action par laquelle on peut lever un poids de 100 livres a la hauteur de deux pieds, pour en lever un a la hauteur d'un pied seulement, cetuy cy doit peser 200 livres ».
- 4 Ainsi la lumière est « un certain mouvement, ou une action fort prompte & fort vive » ou « une action ou une inclination à se mouvoir », Descartes, *La Dioptrique*, AT VI, p. 84 et 89. Morin réplique qu'une action/inclination diffère d'un mouvement comme la puissance à l'acte. Pour Descartes, « action » a un sens général incluant aussi bien « inclination » que « mouvement ». Voir lettres à Morin, 13 juillet et 12 septembre 1638, AT II, p. 203-204 et p. 363-364.
- 5 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 43, p. 88.
- 6 Gabbey, « Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics », p. 62 : « The function of Descartes' First Law is to provide the [...] grounds for saying that for a body at rest, or in motion, there is a constant force maintaining it in that state, and therefore a force [...] causing the body to resist and act on other bodies. Since force in the latter sense is the fundamental cause at work in the physical change [...] the function of the First Law can be said to be equivalently to equip Descartes with the sole causal explanation of bodily behaviour, which in its prescriptive form is directly applicable in the actual practice of mechanics » (« la fonction de la première loi de Descartes est de fournir les raisons [...] permettant de dire que pour un corps au repos, ou en mouvement, il existe une force constante qui le maintient dans cet état, et donc une force [...] obligeant le corps à résister et à agir sur les autres corps. Puisque la force dans ce dernier sens est la cause fondamentale à l'œuvre dans le changement physique [...], on peut dire que la fonction de la première loi est équivalente à celle d'équiper Descartes de la seule explication causale du comportement corporel qui dans sa forme prescriptive est directement applicable dans la pratique même de la mécanique »).
- 7 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 40, p. 86-87. Sur cette notion de détermination pouvant correspondre dans certains textes à une grandeur vectorielle, voir Roux, *La philosophie mécanique*, p. 424-433.

« forces » apparaîtrait ainsi comme le moyen de réguler les échanges de mouvements et la relation force-changement passe par la confrontation de deux états de persistance¹.

Ainsi, pour les changements de mouvement et/ou de déterminations, « il faut seulement calculer combien il y a de force en chacun des corps, pour mouvoir ou pour résister au mouvement »². Mais, lorsque Descartes énonce la dépendance de l'action d'un corps avec la persistance de son état – le corps conserve son état et donc agit –, il précise qu'il convient aussi de « juger de la quantité de cette force par la grandeur du corps où elle est, & de la superficie selon laquelle ce corps est séparé d'un autre, & aussi de la vitesse du mouvement ..., & les façons contraires dont plusieurs divers corps se rencontrent »³. Cette « quantité » implique notamment des caractéristiques physiques rencontrées dans la notion de « solidité » qui installe, par une mesure de la matérialité du corps, l'idée de persistance dans le monde physique et renvoie à l'inertie au sens de Descartes. Inertie et action sont indissociables ou, plus précisément, celle-ci procède de celle-là. Telles qu'elles apparaissent dans les *Principes*, les règles du choc correspondent à des situations idéales de collisions de deux « corps parfaitement durs » où le milieu n'affecte pas le mouvement. Ainsi, pour déterminer les changements de vitesses et/ou sens au cours du choc, il faut « calculer combien il y a de force en chacun des corps [...] & ce calcul seroit aisé à faire en des corps parfaitement durs, s'il se pouvoit faire qu'il n'y en eust point plus de deux qui se rencontrassent, ni qui se touchassent l'un l'autre à mesme temps, & qu'ils fussent tellement separez de tous les autres, tant durs que liquides, qu'il n'y en eust aucun [...] qui aydast, ni qui empeschast en aucune façon leurs mouvemens »⁴. La résistance qu'offre un corps au repos à une mise en mouvement ne provient donc pas du milieu ambiant et les corps qui se percutent sont caractérisés lors du choc uniquement par leur « grandeur » laquelle renvoie, finalement, à la quantité de matière brute ; en considérant ces « grandeurs » composée du troisième élément, la persistance en

1 Costabel soutient que les recherches de Descartes concernant le choc reposaient sur « deux niveaux », un « profond et philosophique dominé par la notion d'économie dans les changements de modalités, un niveau de traduction en termes plus mathématiques, mettant en scène des notions de forces et de résistances ». Costabel, « Essai critique sur la mécanique cartésienne », *Démarches originales de Descartes savant*, Paris, Vrin, 1982, p. 249. Ce « principe d'économie » apparaît dans la lettre à Clerselier du 17 février 1645, AT IV, p. 183-188. Il énonce que dans une collision il s'opère un règlement des modes (les mouvements et déterminations incidents) incompatibles des corps, les changements qui les affecte afin de les rendre compatibles devant être les moindres possibles. Qu'un tel principe soit au fondement des règles du choc, telle est la thèse soutenue par Jean-Pierre Sérès, *Machines et communication*, Vrin, Paris, 1987, p. 228-234 ; Michel Fichant, *La réforme de la dynamique*, Paris, Vrin, 1994, p. 18 ; Frédéric de Buzon et Vincent Carraud, *Descartes et les « Principia » II. Corps et mouvement*, Paris, PUF, p. 108-109. Garber, *La physique métaphysique de Descartes*, p. 367-376, montre la difficulté de l'appliquer à toutes les règles. Clarke, « The Impact Rules of Descartes' Physics », p. 64-65 soutient une utilisation du principe énoncé à Clerselier pour les règles impliquant un corps au repos. Gabbey, « Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics », soutient que les règles reposent sur une opposition de forces et sur la troisième loi du mouvement cartésienne.

2 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 45, p. 89.

3 *Ibid.*, art. 40, p. 88.

4 *Ibid.*, art. 45, p. 89. Concernant la « dureté », en illustration de sa troisième loi du mouvement, Descartes écrit que « nous voyons qu'un corps dur, que nous avons poussé contre un autre plus grand qui est dur & ferme, rejaillit vers le côté d'où il est venu, & ne perd rien de son mouvement ; mais que si le corps qu'il rencontre est mol il s'arrête incontinent, pour ce qu'il luy transfère son mouvement » (art. 40, p. 87). Voir aussi *Le Monde*, AT XI, p. 41-42 : « si [...] l'on pense que, plus un corps peut résister, plus il soit capable d'arrêter le mouvement des autres, ainsi que peut-être d'abord on se pourroit persuader : on aura derechef bien de la peine à rendre raison, pourquoi le mouvement de cette pierre s'amortit plustost en rencontrant un corps mol, & dont la résistance est mediocre, qu'il ne fait, lors qu'elle en rencontre un plus dur, & qui luy résiste davantage ? comme aussy pourquoi, si-tost qu'elle a fait un peu d'effort contre ce dernier, elle retourne incontinent comme sur ses pas, plustost que de s'arrêter ny d'interrompre son mouvement pour son sujet ? » La dureté s'oppose à la mollesse, la première impliquant une réflexion, l'autre un mouvement commun. Mais la dureté ne fonde pas à elle seule l'existence d'un rebond : puisque les corps durs doivent aussi respecter la seconde partie de la troisième loi, leur collision peut conduire à un mouvement commun. Descartes oppose le caractère « parfaitement dur » d'un corps à un autre composé d'une « matière flexible », voir la lettre de Descartes à Mersenne du 26 avril 1643, AT III, p. 652. La dureté signifierait simplement que les corps ne subissent pas de déformations et que dans ces conditions la quantité de mouvement se conserve sous la forme du seul mouvement : le mouvement produit par le choc ne sert pas au changement de forme des corps.

l'état de mouvement correspondrait pour ces règles à la notion d'« agitation » évoquée ci-dessus.

Les règles de collisions apportent des enseignements sur l'inertie chez Descartes¹. En particulier la règle 4 où le corps C en repos, plus « grand » que le mobile incident B , ne peut être mis en mouvement par le choc, B rejaillissant avec sa vitesse initiale. Pour que cette règle respecte pleinement la troisième loi, il faut que C possède plus de force pour résister que B n'en a pour agir. Cette possibilité peut s'interpréter par la « force [de C] pour demeurer en son repos »². Bien que cette dernière apparaisse sous cette terminologie dès 1640, les règles présentent dans la correspondance avant la parution de 1644 des *Principes* n'en font aucun usage : dans la configuration de la règle 4, le mobile incident ne rebondit pas et le choc donne lieu à un mouvement commun, le premier volet de la troisième loi des *Principes* ne se voyant donc pas respecté³. *A contrario*, le choc où le corps immobile est le plus petit, configuration de la règle 5 dans les *Principes*, conduit dans les lettres à une vitesse finale identique pour les deux corps⁴. Dans les *Principes* le traitement des collisions paraît reposer sur « the functional conception of force as a dynamical contestant » : ce qui détermine l'issue d'un choc consisterait en une inégalité de forces entendues comme mouvements qui persistent⁵. Concernant la résistance du corps immobile, Gabbey montre que les règles 4 et 5 offrent la possibilité de quantifier la force du corps au repos par le changement de mouvement qui l'affecte⁶. L'hypothèse d'un mouvement commun après le choc, en respectant la conservation de la quantité de mouvement (second volet de la troisième loi), en prenant pour B et C les « grandeurs » des corps, V_B la vitesse incidente de B et V' la vitesse finale commune, conduit à l'équation $B \cdot V_B = (B + C)V'$. La lecture conjugulée de la version française des *Principes* et de la lettre à Clerselier permet à Gabbey de conclure que « C au repos résiste à la réception de la quantité de mouvement $\frac{C \cdot B \cdot V_B}{B+C}$ avec une force de même grandeur, et cette force est combattue par la force restante de B , donnée par $\frac{B \cdot B \cdot V_B}{B+C}$. Ainsi, (par la troisième loi) B ne mettra pas C en mouvement, puisque $\frac{C \cdot B \cdot V_B}{B+C} > \frac{B \cdot B \cdot V_B}{B+C}$, étant donné que $C > B$ »⁷.

1 Pour ces règles, voir notamment Garber, *La physique métaphysique de Descartes*, p. 351-396 ; Clarke, « The Impact Rules of Descartes' Physics » ; Buzon et Carraud, *Descartes et les « Principia » II*.

2 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 49, p. 91.

3 Voir en particulier la lettre de Descartes à Mersenne, 25 décembre 1639, AT II, p. 627 qui donne l'exemple d'une collision impliquant un corps au repos « double en grandeur » du mobile incident ; le résultat conduit à un mouvement commun. La lettre du 28 octobre 1640 adressée à Mersenne contient le même exemple, voir AT III, p. 210-211. Les lettres suivantes ne reprennent plus cet exemple de collision, et ce jusqu'à la lettre à Clerselier du 17 février 1645, AT IV, p. 183-188.

4 Voir dans AT III, les lettres de Descartes à Mersenne du 17 novembre 1641, p. 450-451, 19 janvier 1642, p. 481-482, 17 novembre 1642, p. 592-593. Dans les *Principes*, pour la règle 5, B surpasse C en « grandeur », avec C initialement immobile : après le choc, les corps ont une vitesse commune. Pour règle 6, B et C sont de même « grandeur », C initialement immobile : après le choc les corps partent en sens opposés, C prenant le quart de la vitesse initiale de B , B en conservant les trois-quarts. Voir Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 50 et 51, p. 91-92.

5 Gabbey, « Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics », p. 18 et p. 20.

6 *Ibid.*, p. 25. Selon Gabbey le traitement du choc repose sur une inégalité de forces et non sur le principe d'économie modale énoncé plus haut figurant dans la lettre à Clerselier du 17 février 1745. Outre ce principe, cette lettre s'ouvre aussi par l'affirmation « que c'est une loy de la nature, qu'il faut que le corps, qui en meut un autre, ait plus de force à la mouvoir, que l'autre n'en a pour resister » : propos conforme à la troisième loi énoncée dans les *Principes*. Voir la lettre de Descartes à Clerselier, 17 février 1645, AT IV, p. 184.

7 Gabbey, « Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics », p. 26-27 : « C at rest resists the reception of the quantity of motion $\frac{C \cdot B \cdot V_B}{B+C}$ with a force of equal size, and this force is contested by the remaining motive force of B , given by $\frac{B \cdot B \cdot V_B}{B+C}$. Hence (by the Third Law) B will not move C , since $\frac{C \cdot B \cdot V_B}{B+C} > \frac{B \cdot B \cdot V_B}{B+C}$, given that $C > B$ ». Dans un premier temps, on peut lire dans la règle 4, que C doit d'autant plus résister que B va plus vite, puis que sa résistance l'emporte sur l'action de B étant donné la plus grande taille de ce dernier ; « ainsi, par exemple, si C est double de B , & que B ait trois degrez de mouvement, il ne peut pousser C , qui est en repos, si ce n'est qu'il luy en transfere deux degrez, a savoir une pour chacune de ses moitez, & qu'il retienne seulement le troisième pour soy, à cause qu'il n'est pas plus grand que chacune des moitez de C , & qu'il ne peut aller par après plus vistes qu'elles [...] Mais puisque C est en repos, il resiste dix fois plus à la reception de vingt degrez, qu'à celle de deux, & cent fois plus à la reception de deux cent ; en sorte que, d'autant

La force pour résister se quantifierait alors par la quantité de mouvement acquise par C initialement au repos, s'il se déplaçait avec B après le choc ; la force de B s'estimerait par sa quantité de mouvement résiduelle. Or, d'après la troisième loi, le mouvement commun ne survient que si la force de B surpasse celle de C : le raisonnement conduit alors au rebond de B . Ainsi se vérifieraient ces affirmations selon lesquelles un corps « sans mouvement a autant de degré de résistance que l'autre, qui se meut, en a de vitesse »¹, ou encore « que C doit d'autant plus résister, que B vient plus vite vers luy ; & que sa résistance doit prevaloir à l'action de B , à cause qu'il est plus grand que luy »². Gabbey conclut que Descartes semble établir un lien entre la force et le changement de mouvement qui, égal au mouvement cédé par le mobile incident, mesure une résistance. L'historien fait se rapprocher l'analyse cartésienne de la loi d'égalité action-réaction newtonienne tout en soulignant que les règles 4 et 5 montrent Descartes plus proche de l'*actio-passio* scolastique que d'une opposition dynamique entre action-réaction³.

TROIS LECTURES DE LA FORCE DE REPOS

Les paragraphes qui suivent ne visent pas à examiner exhaustivement la réception de la force de corps au repos dans le second XVII^e siècle. Plus modestement, le propos cherche à rendre compte de différents types de réception à travers des écrits évoqués ici suivant un ordre chronologique, et ce afin de mieux saisir par la suite l'originalité de la réflexion malebranchiste sur ce concept.

NEWTON, INERTIE ET EFFORT CENTRIFUGE

Des études ont établi l'importance de l'œuvre de Descartes dans la formation du jeune Newton⁴. Au moins deux exemples apportent des enseignements sur le lien entre l'inertie cartésienne et la « force d'inertie » newtonienne : ils sont liés à la manière dont est justifiée l'inertie et à son rôle dans l'analyse de l'effort centrifuge.

Dans son manuscrit *De Gravitatione*, rédigé dans les années 1660, Newton réfute la thèse cartésienne identifiant l'essence du corps à l'étendue, celle-ci ne pouvant pas à elle seule rendre compte de l'action et de la résistance de la matière : « supprimons du corps (comme il [Descartes] l'exige) la gravité, la dureté et toutes les qualités sensibles, de sorte qu'il ne reste à la fin rien d'autre que ce qui appartient à l'essence du corps. Faut-il croire qu'il ne restera

que B a plus de vitesse, d'autant il trouve en C plus de résistance. Et pource que chacune des moitiés de C a autant de force pour demeurer en son repos, que B en a pour le pousser, & qu'elles luy résistent toutes deux en mesme temps, il est evident qu'elles doivent prevaloir à le contraindre de rejaillir », Descartes, *Principes*, AT IX, p. 90-91.

- 1 Voir lettre de Descartes à Clerselier, 17 février 1645, AT III, p. 185.
- 2 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 49, p. 90-91. Selon Garber, la thèse de Gabbey « reflète le point de vue de textes plus tardifs », en l'occurrence la lettre à Clerselier et l'édition française des *Principes* de 1647, mais non le contenu du texte original de 1644. Se basant sur l'édition latine, Garber soutient que Descartes mesure la force de résister de B par la quantité $C.V_B$. Si telle est la mesure adoptée, Garber, *La physique métaphysique de Descartes*, note 15, p. 364 souligne cette difficulté : « si c'est, en effet, ce que Descartes est en train de dire ici, alors voilà un problème intéressant : comment C sait-il à quelle vitesse B se meut ? Certes il n'y a pas de force de résistance par rapport à C avant le moment effectif où B entre en collision avec C . Mais à ce moment B exerce une force de progression, proportionnelle à sa vitesse multipliée par sa grandeur. Mais comment C peut-il distinguer à ce moment entre un petit corps très rapide et un plus grand, plus lent en proportion ? » En effet, une même « force » $B.V_B$ peut correspondre à différentes « grandeurs » de B : comment C « reconnaît » que B est plus petit et qu'il peut donc résister totalement ?
- 3 Gabbey, « Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics », p. 28-30. L'*actio* est un mouvement produit mais conçu du point de vue de l'agent ; la *passio* est ce même mouvement mais rapporté au patient. Gabbey souligne que l'opposition entre ces deux conceptions est de nature logique mais non dynamique.
- 4 Voir notamment John Herivel, « Sur les premières recherches de Newton en dynamique », *Revue d'Histoire des Sciences et de leurs applications*, t. XV, n° 2, 1962, p. 105-140 ; Herivel, *The background to Newton's Principia, a study of Newton's Dynamical Researches in the Years 1664-1684*, Oxford, Clarendon Press, 1965 ; J. E. McGuire et Martin Tamny, *Certain Philosophical Questions : Newton's Trinity Notebook*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983.

dès lors que l'étendue ? Point du tout. Car, il faudrait rejeter en outre la faculté ou la puissance par laquelle les corps mettent en mouvement les perceptions des choses pensantes » ; « supprimer cette faculté, en considérant soit l'acte divin soit la nature corporelle, est aussi grave que supprimer l'autre faculté, par laquelle les corps ont la force de se transférer leurs actions mutuellement les uns aux autres : c'est-à-dire aussi grave que réduire le corps à un espace vide ». La possibilité d'agir et pâtir de la matière est l'effet de la volonté de « l'esprit divin » ; Dieu peut par sa volonté mettre « nos perceptions en mouvement » et aussi « conférer un tel pouvoir aux effets de sa volonté » en l'occurrence à la matière qu'il a créée¹.

Le milieu, qu'il s'agisse de l'air ou de la matière subtile emplissant l'espace, doit s'opposer au mouvement car « si l'on rejette [...] toute puissance de résistance au passage des corps qui traversent, l'on rejettera alors complètement la nature corporelle » ; la « matière éthérée » privée de toute puissance d'empêcher le mouvement revient à un espace vide². Et « si l'éther était un fluide totalement corporel, sans aucun pore vide, il serait aussi dense que n'importe quel autre fluide [...] et il ne céderait pas aux mouvements des corps qui le traverseraient par une inertie moindre que celle de ce fluide ». Cette « inertie » serait même plus grande « pour peu que le projectile soit poreux : parce que l'éther pénétrerait en ses pores intimes et [...] rencontrerait non seulement toute la surface externe mais aussi les surfaces de toutes les parties internes et leur ferait obstacles ». Pour Newton, l'hypothèse d'une absence de résistance de ce milieu conduit à concevoir « la plus grande partie de l'espace éthéré [...] comme un vide disséminé entre les corpuscules » (p. 141). Par ailleurs, « les corps sont plus denses quand leur inertie est plus intense et plus rares quand leur inertie est plus faible » (p. 144). La prise en compte des surfaces internes des corps et la mention de la densité ne sont pas sans évoquer l'inertie au sens de Descartes. Or, Newton cite une lettre écrite par Descartes à Mersenne datée du 30 juillet 1640 : il aurait ainsi connaissance, puisque insérée dans le même volume, de celle que Descartes adresse à Debeaune dans laquelle il définit l'inertie (p. 140)³.

Newton considère que « l'inertie est la force interne d'un corps qui empêche celui-ci de changer facilement d'état sous l'effet d'une force appliquée à ce corps ». Il écrit que « la force est le principe causal du mouvement et du repos », et qu'elle se définit doublement comme externe (« qui engendre, détruit ou change d'une quelconque manière le mouvement imprimé à un corps ») et interne (« principe interne par lequel le mouvement ou le repos attaché au corps est conservé et par lequel tout s'efforce de persévérer en son état et oppose de la résistance ») (p. 142). Ainsi, l'action d'un corps se perçoit à travers l'idée de persistance dans son état. En somme, dans ce livre, et contre Descartes, Newton conçoit qu'en rejetant les « accidents » des corps (la gravité, la dureté etc.) il ne reste pas l'étendue seule mais aussi « les facultés par lesquelles les corps peuvent mettre en mouvement tant les perceptions des esprits que les autres corps » (p. 141). Pour autant, la critique semble plus porter sur le statut de la force, et donc de l'inertie, que sur une dénonciation de l'absence de cette force dans la physique de Descartes ; la force comme « principe interne » implique une conception de la force d'agir ou de résister conséquence d'une persévérance en un état à l'instar de Descartes.

1 Isaac Newton, *De Gravitatione et æquipndio fluidorum*, éd. A. Rupert Hall et Marie Boas Hall, *Unpublished Scientific Papers*, Cambridge, Cambridge University Press, 1962, p. 90-156. Citations tirées de *De la gravitation suivi de du mouvement des corps*, éd. François de Gandt et Marie-Françoise Biarnais, Paris, Gallimard, 1995, p. 139 et p. 131-132. Newton critique ici le contenu de Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 4, p. 65 sur l'extension seule comme « nature » des corps.

2 Newton, *De la gravitation*, p. 140.

3 Newton renvoie à la « Lettre 96 à Mersenne. Partie 2 » qui figure dans Clerselier, *Lettres de M^r Descartes*, Paris, Charles Angot, tome II, 1659, p. 435-444 et qui correspond à la lettre à Mersenne de juillet 1640 ci-dessus mentionnée. La missive n° 25 du même volume (p. 166-168) correspond à la lettre à Debeaune évoquant l'inertie.

En l'occurrence, les premiers écrits de dynamique de Newton des années 1660 montrent cette importance de Descartes et de la loi de persistance pour chacun des états de mouvement et de repos dans sa pensée de la force¹ ; une loi dont des traces peuvent être trouvées jusque dans la première édition de ses *Principia* de 1687. Suivant Gabbey, pour Descartes la force du corps en mouvement se mesure par la quantité de mouvement et celle du repos par un changement de mouvement. Selon Newton un corps exerce sa force d'inertie sous la forme d'une réaction seulement lorsqu'il subit une *vis impressa* ; pour autant, un mobile persévère dans le nouvel état acquis par sa *vis inertiae*². Gabbey soutient alors l'importance de la lecture de Descartes sur Newton dans la genèse de la loi de l'égalité entre l'action et la réaction ainsi que pour cette dualité de la *vis inertiae*³.

Le Monde et les *Principes* énoncent comme loi de la nature la tendance d'un corps à suivre une trajectoire rectiligne, que Descartes illustre par la direction que suit une pierre sortie d'une fronde, direction tangentielle au cercle décrit par cette dernière. L'effort centrifuge apparaît comme conséquence de la loi. Le mouvement, selon une tangente, « nous fait voir manifestement, que tout corps qui est meu en rond, tend sans cesse à s'esloigner du cercle qu'il décrit », ce que « nous pouvons mesme sentir de la main, pendant que nous faisons tourner cette pierre dans cette fronde ; car elle tire & fait tendre la corde pour s'esloigner directement de notre main »⁴. Dans *Le Monde*, Descartes note que la pierre suit une tangente au point de sortie de la fronde, « mais de plus, pendant tout le temps qu'elle y est, elle presse le milieu de la fronde, & fait tendre la corde : montrant évidemment par là, qu'elle a toujours inclination d'aller en droite ligne, & qu'elle ne va en rond que par contrainte »⁵. L'effort radial est celui que fait la pierre pour retrouver son mouvement naturel. Il provient d'une contrainte, celle-là même empêchant la trajectoire que définit la loi de la nature, d'où le mot « effort » : « lors que je dis qu'un corps tend vers quelque costé, je ne veux pas pour cela

-
- 1 Sur « the actual influence of Descartes on Newton in dynamics », voir Herivel, *The background to Newton's Principia*, p. 42-53. Voir dans ce livre, p. 128-182, les manuscrits MS. Add. 4004 (« Waste Book », 1664-1665), en particulier dans les f° 12-f°13 l'axiome 100 concernant la conservation des états de repos, des vitesses et des « déterminations » à partir duquel Newton fait dépendre l'action ; Newton énonce aussi, comme Descartes, la conservation du repos et du mouvement rectiligne uniforme dans les axiomes 1 et 2 du f°11. Newton distingue la force du mouvement de la force pour réduire le corps au repos ou le mettre en mouvement (axiome 112 : « A body is said to have more or lesse motion as it is moved with more or lesse force, that is as there is more or lesse force required to generate or to destroy its whole motion ») « on dit qu'un corps a plus ou moins de mouvement lorsqu'il est déplacé avec plus ou moins de force, c'est-à-dire qu'il y a plus ou moins de force nécessaire pour générer ou détruire tout son mouvement » ; axiome 114 : « There is required soe much and noe more force to reduce a body to rest than there is to move it » « il faut autant et pas plus de force pour réduire un corps au repos qu'il en faut pour le déplacer » ; à rapprocher de Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 26, p. 77 : « il n'est pas requis plus d'action pour le mouvement que pour le repos ». Plus généralement, les axiomes 101 à 107 posent pour des corps animés d'une même vitesse une relation de proportionnalité entre la résistance pour réduire un mouvement au repos ou la puissance pour mettre un corps au mouvement avec la « taille » des corps ; les axiomes 108 à 111 énoncent une proportionnalité entre ces forces et la vitesse pour des corps égaux ; les axiomes 112 à 118 fusionnent ces deux séries d'axiomes.
- 2 Newton, *Principes*, TMC, Définition III, p. 2 : « La force qui réside dans la matiere (vis insita) est le pouvoir qu'elle a de résister. C'est par cette force que tout corps persévère de lui-même dans son état actuel de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite. Cette force est toujours proportionnelle à la quantité de matiere des corps, & elle ne diffère de ce qu'on appelle l'inertie de la matiere, que par la maniere de la concevoir : car l'inertie est ce qui fait qu'on ne peut changer sans effort l'état actuel d'un corps, soit qu'il se meuve, soit qu'il soit en repos ; ainsi on peut donner à la force qui réside dans les corps le nom très-expressif de force d'inertie. Le corps exerce cette force toutes les fois qu'il s'agit de changer son état actuel, & on peut la considérer alors sous deux différens aspects, ou comme résistante, ou comme impulsive : comme résistante, en tant que le corps s'oppose à la force qui tend à lui faire changer d'état ; comme impulsive, en tant que le même corps fait effort pour changer l'état de l'obstacle qui lui résiste ». Voir aussi Définition IV, p. 3 : « La force imprimée (vis impressa) est l'action par laquelle l'état du corps est changé, soit que cet état soit le repos, ou le mouvement uniforme en ligne droite. Cette force consiste uniquement dans l'action, & elle ne subsiste plus dans le corps, dès que l'action vient à cesser. Mais le corps persévère par sa seule force d'inertie dans le nouvel état dans lequel il se trouve ».
- 3 Gabbey, « Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics », p. 30-42.
- 4 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 39, p. 86. Le latin, en recourant à l'expression « ex quo sequitur » fait plus explicitement découler cet effort de la loi énoncée.
- 5 Descartes, *Le Monde*, AT XI, p. 44.

qu'on s'imagine qu'il ait en soy une pensée ou une volonté qui l'y porte, mais seulement qu'il est disposé à se mouvoir vers là : soit que veritablement il s'y meuve, soit plutost que quelque autre corps l'en empesche ; & c'est principalement en ce dernier sens que je me sers du mot tendre, à cause qu'il semble signifier quelque effort, & que tout effort présuppose de la resistance »¹.

Descartes évoque à la fois un effort tangentiel et un effort radial, ce dernier semblant le plus important aux yeux du philosophe dans son explication de phénomènes naturels². Ainsi, si un corps « tend à s'éloigner du centre autour duquel il se meut », Descartes ne mentionne que l'effort radial de la pierre ou d'une fourmi qui, liée à une règle mobile, emploie « toutes ses forces pour aller » sur un point situé sur une tangente³. Malgré tout, le mouvement de l'insecte ne s'interprète qu'à travers la nécessité de suivre un mouvement tangentiel, celui-là même dont l'empêchement a pour conséquence l'action centrifuge.

Ainsi, l'analyse de la nature de la lumière et de sa propagation à pour préliminaire l'étude du mouvement d'une fronde en termes d'« inclinations empêchées ». La pierre, au cours de la rotation, suit trois « tendances » : une tangentielle, une radiale centrifuge et une autre circulaire. La première se décompose en ces deux autres⁴ et l'empêchement du mouvement tangentiel implique qu'une de ses deux composantes ne soit pas réalisée : puisque le mouvement circulaire est effectif, l'opposition concerne la seule direction radiale et, « par consequent, [...] elle [la pierre] ne tend, c'est a dire [...] elle ne fait effort, que pour s'éloigner directement du centre *D* »⁵ de rotation (Fig. 1) afin, finalement, de conserver la tendance tangentielle⁶ ; l'effort centrifuge semble tributaire et se déduire de la « force à continuer le mouvement » de direction tangentielle. L'analyse du mouvement des parties du second élément constitutif des cieux en témoigne (Fig. 2) : « celles qui sont par exemple vers *E* ne tendent de leur propre inclination que vers *P* », c'est-à-dire suivant une tangente, mais « la resistance des autres parties du Ciel, qui sont au dessus d'elles, les fait tendre, c'est a dire les dispose à se mouvoir suivant le cercle *ER*. Et derechef, [...] cette resistance opposée à l'inclination qu'elles ont de continuer leur mouvement en ligne droite, les fait tendre, c'est a dire, est cause qu'elles font effort pour se mouvoir vers *M*. Et ainsi, jugeant de toutes les autres [les parties du ciel] en mesme sorte, vous voyez en quel sens on peut dire qu'elles tendent vers les lieux, qui sont directement opposez au centre du Ciel [*S*] qu'elles composent »⁷. L'effort centrifuge exprime la résistance qu'offre la matière du deuxième élément lorsqu'il y a empêchement de sa tendance naturelle.

1 *Ibid.*, p. 84. Voir aussi *Principes*, AT IX, art. 56, p. 131.

2 Roux, *La philosophie mécanique*, p. 489 évoque l'importance de cet effort centrifuge qui se voit qualifié par Descartes de « loi de la nature » : « la troisième loi de la nature du Monde et la deuxième loi des *Principes de la Philosophie* consistent surtout à énoncer l'existence d'un effort centrifuge » ; sur le lien entre cet effort et la propagation de la lumière voir p. 482-507 et pour l'explication de la pesanteur, voir p. 534-544.

3 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 58, p. 132.

4 Descartes, *Le Monde*, AT XI, p. 85 : « imaginez-vous l'inclination qu'à cette pierre à se mouvoir d'*A* vers *C* [Fig. 1], comme si elle estoit composée de deux autres, qui fussent, l'une de tourner suivant le cercle *AB*, & l'autre de monter tout droit suivant la ligne *VXY* ». Voir aussi *Principes*, III, AT IX, art. 58, p. 132.

5 Descartes, *Le Monde*, AT XI, p. 86. Voir aussi *Principes*, III, AT IX, art. 58, p. 132.

6 Descartes, *Le Monde*, AT XI, p. 85. « L'inclination » de la pierre à se mouvoir suivant *AG* (Fig. 1) est composée de deux autres suivant *AB* et *VXY* et « ce en telle proportion, que, se trouvant à l'endroit de la fronde marqué *V*, lors que la fronde est à l'endroit du cercle marqué *A*, elle se deust trouver par après à l'endroit marqué *X*, lors que la fronde seroit vers *B*, & à l'endroit marqué *Y*, lors qu'elle seroit vers *F*, & ainsi demeurer toujours en la ligne droite *ACG* » ; cette dernière correspondant à la tangente au cercle est donc celle que s'efforce de prendre la pierre qui provoque alors la tendance radiale. Voir aussi Descartes, *Principes*, III, AT IX, art. 58, p. 132.

7 Descartes, *Le Monde*, AT XI, p. 86.

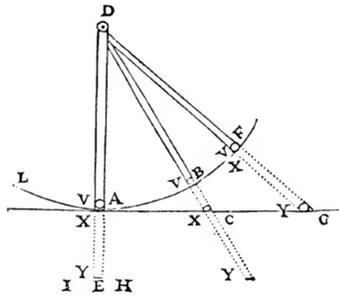


Fig. 1 : *Le Monde* de René Descartes (1677), p. 441.

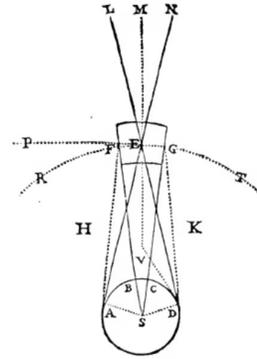


Fig. 2 : *Le Monde* de René Descartes (1677), p. 481.

Herivel a montré l'importance de l'analyse cartésienne du mouvement circulaire pour Newton¹. Une importance qui semble perdurer jusqu'aux brouillons précédant les versions du traité *De Motu* de 1684. L'effort centrifuge appartient à cette famille des forces internes des corps qui opposent une résistance lorsque leur état inertiel se voit perturbé : la persistance implique une résistance dont rend compte la force centrifuge lors des mouvements circulaires². Les analyses de Descartes sur le mouvement des corpuscules du second élément suggèrent l'origine d'une telle conception : cette résistance, possédant le statut d'une réaction dans le texte de Newton, pourrait résulter de cette propriété à persévérer dans un mouvement rectiligne uniforme le long d'une tangente à une trajectoire courbe. Conférer à cet effort centrifuge de statut de *vis inertiae* montre à quel point Newton voit ici à travers la loi de persistance cartésienne le fondement de la résistance d'un corps.

PARDIES, EQUIVALENCE ONTOLOGIQUE, INDIFFERENCE ET REGLES DU CHOC

Dans son *Discours sur le mouvement local*, Pardies récuse la tendance à considérer le repos comme « une cessation d'action » et à attribuer au mouvement « une action positive » ; il soutient que « le repos n'est pas une pure négation »³. Cette distinction entre ces états « nous [l'] expérimentons en nous-mêmes, quand nous nous mouvons, ou que nous voulons mouvoir un autre corps : au lieu que nous concevons qu'un corps demeure au repos déhors que personne n'y touche, & qu'il n'y a aucune autre cause qui lui imprime effectivement cette qualité ou cette action nécessaire pour le mouvement ». Ainsi, « la

- 1 Herivel, « Sur les premières recherches de Newton », p. 117-129 et Herivel, *The background to Newton's Principia*, p. 45-53. Voir en particulier dans ce dernier livre (p. 129-130, p. 145-147 et p. 192-198) le manuscrit « Waste Book » (MS. Add. 4004) ainsi que MS. Add. 3958 (5) dont la rédaction est antérieure à 1669.
- 2 Voir MS. Add. 3965 (5a), définition 12, dans Herivel, *The background to Newton's Principia*, p. 311 : « Definition 12 The internal force and innate force of a body is the power by which it preserves in its state of rest or of moving uniformly in a straight line. It is proportional to the quantity of the body, and is actually exercised proportionally to the change of state, and in so far as it is exercised it can be said to be the exercised force of a body, of which [?] one kind is the centrifugal force of rotating bodies » (« Définition 12 La force interne et innée d'un corps est la puissance par laquelle il conserve son état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite. Elle est proportionnelle à la quantité du corps et s'exerce effectivement proportionnellement au changement d'état, et dans la mesure où elle s'exerce, on peut dire qu'il s'agit de la force exercée par un corps, dont l'une de cette sorte est la force centrifuge des corps en rotation »). Voir aussi « Definition 13 » et MS. Add. 3965 (5), p. 320, « Definition 14 » pour la force centrifuge comme résistance opposée au changement d'état d'un corps.
- 3 Ignace Gaston Pardies, *Discours du mouvement local, avec des Remarques sur le Mouvement de la Lumière*, dans *Œuvres*, Lyon, Les Freres Bruyset, 1725 (1^{re} éd. en 1670), p. 141. Pour cette discussion chez Descartes, voir *Principes*, II, AT IX, art. 26, p. 77. Descartes semble être l'interlocuteur privilégié de l'ouvrage. Dans un « Avis au Lecteur » Pardies rapporte l'opinion de lecteurs qui « publioient qu'il [Pardies] suivoit entierement la doctrine de M. Descartes ; & que quoiqu'en quelques endroits il semblât le combattre sans le nommer, il établissoit tous ses sentimens sur cette matiere ». D'où des « remarques » ajoutées en fin du livre, l'auteur s'estimant obligé de « détromper » le public qui suivrait l'opinion des détracteurs. Voir Pardies, *Discours du mouvement local*, p. 184-186.

pesanteur de nos corps qu'il nous faut porter, la roideur des membres qu'il nous faut plier, l'agitation des esprits [animaux] qu'il nous faut employer, & beaucoup d'autres choses, nous font experimenter quelque resistance, & nous obligent d'user de quelque violence pour surmonter ces empêchemens ». Mais en supposant « aucun empêchement ni de gravité, ni d'inclination particuliere, ni de corps qui puisse résister au dehors », il devient manifeste qu'« il ne faut pas plus d'action pour le mouvement que pour le repos ; & qu'afin qu'un corps se repose, il n'est pas moins besoin qu'il ait été mis en repos, qu'il est necessaire, afin qu'il se mouve, qu'il ait été mis dans le mouvement ». Aussi existe-t-il « autant d'action positive dans le repos, que dans le mouvement », le premier pouvant être appelé « une cessation de mouvement » comme le second « une cessation de repos ». Le repos se définit comme « un estat de consistance, & une présence constante », le mouvement comme « un estat changeant, & une présence passagere », et « s'il y a quelque action ou quelques sortes de cause dans le corps, qui doit produire cette suite de diverses presences dans le mouvement ; il n'est pas moins besoin d'action ou de force dans le repos pour conserver cette même presence ; parce que conserver une chose, c'est la produire continuellement » (p. 141-143) ; la conservation dans un état, quel qu'il soit, implique une action-production incessante, cette argumentation relevant finalement de la doctrine de la création continuée.

En supposant un monde où il n'y ait rien d'autre de corporel qu'une ou deux boules non susceptibles « de sympathie ou de secrette communication » entre elles,

ces boules libres de toute détermination particuliere, sans legereté, sans pesanteur, dans le vuide, ou du moins dans un espace tout uniforme, où il n'y ait rien qui portât plus d'un côté que d'un autre, ou qui les pût empêcher de se mouvoir librement : si elles venoient à être poussés vers quelque endroit, alors nous concevriens que ces boules seroient tout-à-fait indifferentes pour se toucher, ou pour être séparées, pour être ici, où pour être là ; puisqu'elles ne trouvent rien en un endroit plus qu'en un autre ; & par consequent elles seront aussi également indifferentes, pour être en repos, ou pour être en mouvement (p. 139-140).

Ainsi, une boule en repos ou en mouvement demeure en ces états en raison de cette indifférence : « cette boule étant d'elle même indifferente au repos ou au mouvement, & étant une fois déterminée au repos [resp. mouvement], il est impossible qu'elle se détermine elle-même à quitter ce repos [resp. mouvement] pour prendre le mouvement [resp. repos] » (p. 140-141).

Dans le choc, selon Pardies, « il se fait une percussion, qui est mutuelle & également reçûë dans l'un & dans l'autre corps », qu'ils soient en mouvement ou bien que l'un des deux demeure au repos. Dans ce dernier cas, le corps ne subit pas passivement l'action du mobile mais agit sur lui. Que *a* frappe *B* autant qu'il est frappé lui-même se conçoit en supposant « deux corps tout-à-fait semblables en masses, en figure, en dureté ». Pardies évoque deux corps « également durs, sans aucune autre difference » plantés de clous identiques sur les têtes desquels ils se percutent : « il n'y a point de raison qui puisse nous faire croire que le clou de *B* soit plus enfoncé que celui d'*a* » (p. 154-155). Ainsi, lors d'une collision impliquant deux corps dont un immobile « ces percussions frappent & poussent les deux corps vers les endroits opposés », « le corps *a* donne son mouvement & sa vitesse au corps *B* » initialement au repos, et *a* « reçoit » lors du choc sa vitesse incidente, en sens opposé (p. 156)¹. Mais, pour chacune des règles de collision qu'il énonce, Pardies écrit que « je n'aye pas fait mention de l'égalité ou de l'inégalité des corps qui se frappent » et que ceci a été fait « avec reflexion ». Cette absence résulte de l'indifférence de la matière évoquée ci-dessus :

le corps frappé étant tout-à-fait indifférent à demeurer en repos ou à prendre le mouvement, & tout l'effet de la percussion venant de l'impenetrabilité des corps : si nous supposons que le corps frappé soit plus

¹ De la même manière lors du choc de deux corps égaux possédant une vitesse d'« un degré ».

grand, pourvu que toutes ses parties soient bien unies ensemble, il faudra qu'il se meuve de la même vitesse que se meut le corps qui frappe, par la même raison que lorsqu'ils sont égaux ; c'est à sçavoir parce qu'ils sont impenetrables, & que le corps frappant ne peut se mouvoir plus avant, sans que le corps frappé qui est au-devant, ne prenne toute sa vitesse. Et comme d'ailleurs, le plus grand est aussi indifférent que le corps égal pour le repos & pour le mouvement ; certes, le plus grand ne fera pas plus de resistance que l'égal, puisque ni l'un ni l'autre n'en feront pas la moindre du monde (p. 172).

Le caractère mutuel de la percussion repose alors sur l'impénétrabilité qui rend possible le changement des mouvements ; le transfert total de vitesse s'explique par l'indifférence de la matière, indifférence qui rend caduque la prise en compte des « inégalités des corps ». Ainsi, l'équivalence posée entre les deux états n'aboutit pas, comme chez Descartes, à la formulation de la force du corps au repos et d'une mesure susceptible d'en rendre compte¹.

Pardies estime ses règles valables dans le vide et non dans « un espace plein de quelque corps fluide, comme est l'air & quelque autre substance subtile ». Le mouvement d'un corps perdure aussi dans une substance « parfaitement fluide », « parfaitement pleine », c'est-à-dire n'ayant ni la possibilité de se « condenser » ni de se « rarefier », constituée de parties « flexibles & liquides », renfermée dans une enceinte parfaitement close : le mobile « pousse » le fluide devant lui lequel par suite de mouvements de réflexions sur la paroi agit sur les parties de fluide situées derrière ce corps de la même « force » qu'il a été poussée². Pardies écrit aussi que la liqueur « se divise & s'ouvre au devant [du mobile], & fuit, & se referme après le corps » ; si ce dernier perd son mouvement, le fluide le lui redonne et l'entraîne avec lui. Ainsi, deux corps égaux qui se percutent se comportent comme dans le vide : une même quantité de liqueur enveloppe les corps et bien qu'elle « empêche » le corps frappé de se mouvoir librement, celle « autour du corps frappant, pousse [...] tant le frappant que le frappé » et « la resistance de la liqueur du corps frappé est précisément recompensée par l'impulsion de la liqueur du corps frappant » (p. 175). *A contrario*, pour des corps inégaux, « si le corps frappant est plus grand, il faut nécessairement qu'il ne reçoive pas tant de la percussion que l'autre, parce qu'il est emporté avec plus de violence par la liqueur qui l'environne » (p. 176)³. Etablir des règles du choc dans de tels milieux implique de prendre en compte « la resistance que font les corps liquides », « la facilité qu'ils ont de se condenser ou de se rarefier » et « beaucoup d'autres choses qui ne peuvent nous être connues non plus qu'une infinité d'autres empêchemens, dont les combinaisons peuvent diversifier infiniment tous les effets des percussions » (p. 177).

Dans un autre traité, dans la configuration de la règle 4 des *Principes* de Descartes, Pardies écrit que « ce que dit M. Descartes de la resistance des corps dans le repos, n'est pas raisonnable » : « afin qu'un corps s'attache & adhere en quelque part, il faut qu'il trouve quelque corps solide & inébranlable auquel il puisse s'accrocher, comme le fait l'ancre d'un navire qui s'attache sur le roc » ; « comment peut-on s'imaginer qu'un corps puisse s'accrocher dans le vuide pour y demeurer inébranlable, & résister à tout ce qui feroit effort

-
- 1 Concernant cette absence de prise en compte des masses « Pardies' assertion was the logical outcome of the seventeenth-century concept that matter is indifferent to motion » (« l'affirmation de Pardies était le résultat logique du concept de matière indifférente au mouvement du XVIIe siècle »), Richard S. Westfall, *Force in Newton's Physics, the science of dynamics in the seventeenth century*, Londres/New York, Macdonald/American Elsevier, 1971, p. 182-183. Pour cette notion d'indifférence, voir Partie II, Chapitre II et surtout Chapitre III.
 - 2 Pardies, *Discours du mouvement local*, p. 172-173. L'absence de condensation/raréfaction et le plein implique que la poussée du corps se communique « dans un moment » au fluide qui la propage jusqu'à réflexion sur l'enceinte. *A contrario* dans « une liqueur spongieuse & capable de compression » tel que l'air, le mouvement s'éteint, le mobile ressentant plus de résistance devant lui qu'il ne reçoit d'impulsion derrière lui car la liqueur se « comprime », ou bien ses parties « cedent », et « la communication de l'impression ne se peut faire parfaitement » ; pour cette raison nos mouvements cessent dans l'air et dans l'eau. *Ibid.*, p. 174.
 - 3 Ainsi une poutre transportée par une rivière qui vient à heurter le pilier d'un pont a plus d'effet qu'un simple bâton qui suit le même cours. Dans un tel milieu un corps plus « grand » rencontrant un plus « petit » immobile ne s'arrête pas comme dans le vide mais suit le corps qu'il vient de mettre en mouvement avec une moindre vitesse. Si un plus « petit » percute un « grand » au repos, il communique une partie de sa vitesse et se réfléchit.

pour le tirer de là ? »¹ Pardies en vient à un exemple impliquant des poids : « nous ne saurions imaginer dans les corps aucune résistance de leur part plus forte & plus efficace que celle que nous expérimentons qu'ils font par leur pesanteur ; cependant [...] un petit grain de sable, en tombant sur un plat d'une balance, feroit lever l'autre plat, où seroit un autre poids aussi lourd, si vous voulez, que toute la terre, & luy donneroit toute la vitesse qu'il avoit luy-même en descendant » (p. 263). Pardies entend ainsi montrer que s'il est possible de mouvoir un grand poids, la pesanteur s'identifiant à cette résistance la « plus forte » et la « plus efficace », à plus forte raison il le sera de mouvoir un corps dans le vide ou cette force n'existe pas. Mais, comme en attestent les règles du choc de Pardies, l'exclusion de la pesanteur signifie aussi celle d'une opposition identifiable à une réaction de la matière.

Ainsi, Pardies refuse la résistance absolue de Descartes sans lui substituer une autre dont l'effet correspondrait à celui de l'inertie. Tout en postulant l'identité d'actions pour mettre en mouvement ou au repos un corps sans pesanteur, dans le vide, une même force appliquée à des corps de masses différentes produit une même vitesse. Ainsi, pour une collision se faisant « comme dans le vuide, sans pesanteur, sans legereté, & sans aucun autre empeschement » :

il ne faut pas plus de force à mouvoir un grand corps, qu'à en mouvoir un petit ; & [...] il n'y aura pas plus de peine à mouvoir dix parties, qu'à en mouvoir cinq, puisque ny les cinq, ny les dix ne font aucune résistance. Et certainement puisque une boule en frappant contre une autre boule qui luy est égale, peut la mouvoir, & en la mouvant luy donner toute sa vitesse, comme tout le monde en convient ; si nous voulons à considerer cette seconde boule jointe à une troisième qui n'ajoute aucune nouvelle résistance ; n'est-il pas visible que la même force qui suffisoit pour mouvoir cette seconde boule quand elle estoit seule, suffira aussi pour la mouvoir avec la même vitesse quand elle est jointe à cette troisième qui n'apporte aucune nouvelle difficulté ? Il est bien vray que dans l'estat où nous sommes, nous avons plus de peine à remuer une grosse pierre, qu'à en remuer une petite ; mais il n'y a personne qui ne sçache que cela vient de la résistance que cause la pesanteur de ces pierres. Car si la grande pierre n'estoit pas plus pesante que la plus petite, il n'y a point de doute que nous pourrions la mouvoir avec la mesme facilité (p. 262)².

Finalement, la nécessité d'une action pour changer un état résulte du maintien du corps dans son état mais sans que ceci conduise à introduire une grandeur permettant la quantification de cette action. Pour les collisions dans le plein, dans toutes les circonstances possibles de chocs (différences des « grandeurs », de mouvements et immobilité d'un corps), le milieu joue un rôle essentiel par sa résistance qui conduit à des règles du choc différentes à celles dans le vide. Ainsi, « la liqueur du corps frappé empêche ce même corps frappé de se mouvoir librement »³, elle oppose une résistance, elle se condense, se raréfie, cette liqueur correspondant à l'air et à « quelque autre substance subtile⁴. En somme, le milieu extérieur se substitue à une propriété intrinsèque de la matière.

LEIBNIZ ET L'INERTIE CARTESIENNE

Pour sa part, Leibniz conçoit le corps « inerte » en ce sens que qu'il ne change pas spontanément son état et qu'il oppose une résistance au mobile le percutant. Or, « 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, par ailleurs, le corps résiste au mouvement par une « *inertie naturelle* », c'est-à-dire qu'il ne le conserve pas mais tend au

1 Pardies, *La statique ou la science des forces mouvantes* (1^{re} édition en 1674), dans *Œuvres*, p. 263.

2 Excepté la pesanteur, Pardies ne semble pas voir d'autres résistances ; une même force appliquée donne à différents corps une même vitesse, quelles que soient les masses.

3 Pardies, *Discours du mouvement local*, p. 175.

4 Evoquer la résistance de la pesanteur lors du choc revient à prendre en compte l'action de la matière subtile sur les corps, voir sur ce point Partie II, Chapitres II et III.

repos¹. Leibniz adjoint à l'étendue cartésienne « quelque chose de passif, outre l'étendue, à savoir ce par quoi le corps résiste à la pénétration »². L'association de l'impénétrabilité et de « l'inertie naturelle » définit alors la « force passive de résistance » conçue comme « la notion même de matière première ou de masse » ; de cette « conception suivent des lois du mouvement très différentes de celles que l'on obtient si l'on ne reconnaît rien de plus dans les corps et la matière que l'étendue et l'impénétrabilité »³. Enfin, puisque « l'inertie naturelle » s'oppose au mouvement alors que l'« expérience » confirme que le corps conserve une vitesse acquise, il faut « une force motrice primitive qui s'ajoute à l'étendue (ou à ce qui est proprement géométrique) et à la masse (ou ce qui est purement matériel) et qui agit toujours »⁴. La notion de substance prend pleinement son sens dans cette association de forces « passive » et « active »⁵.

Les critiques de Leibniz visent plus à corriger une conception qu'il estime défailante de l'essence de la matière, qu'à dénoncer l'absence d'une inertie chez Descartes. En effet, il écrit qu'« 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 »⁶. Cette citation pourrait suggérer que Leibniz assimile l'inertie képlérienne et l'inertie cartésienne, mais il ne paraît les relier que par leur point commun : plus le corps contient de matière, plus il résiste. La résistance, chez Kepler, s'apparente à une répugnance au mouvement alors que Descartes la rattache à un principe de conservation. Leibniz se montre conscient de cette différence et il loue, en référence aux

-
- 1 Gottfried Wilhelm Leibniz, « De ipsa natura sive de vi insita actionibusque Creaturarum, pro Dynamicis suis confirmandis illustrandisque », *Die philosophischen Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz*, éd. Carl J. Gerhardt, vol. IV, Berlin, Weidmannsche Buchhandlung, 1880, p. 504-516 ; texte publié à l'origine dans *Acta eruditorum, Anno MDCXCVIII*, Lipsiæ, J. Grossii & J. T. Fritschium, J. Georgii, Sept. 1698, p. 427-440. Les citations proviennent ici de « De la nature en elle-même, ou de la force inhérente aux choses créées et de leurs actions. Pour servir de confirmation et d'éclaircissement à la dynamique de l'auteur », dans *Opusculæ philosophiques choisies*, éd. Paul Schrecker, Paris, Vrin, 1966, p. 102-103. Leibniz note que « la matière résiste au mouvement par une sorte d'inertie naturelle, comme Kepler l'a très bien nommée ».
 - 2 Leibniz, fragment non publié daté de 1702, dans *Die philosophischen Schriften*, vol. 4, p. 393-400. Les citations proviennent ici de la traduction Christiane Frémont (éd.), « De la nature du corps et de la force motrice », *Système nouveau de la nature et de la communication des substances et autres textes 1690-1703*, Paris, GF Flammarion, 1994, p. 173.
 - 3 Leibniz, « De la nature en elle-même », p. 103.
 - 4 *Ibid.*, p. 104. Voir aussi p. 103 : « 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 ».
 - 5 Par la « force primitive première », ou « entéléchie première », le corps agit sur lui-même en surmontant son « inertie naturelle » ce qui fonde le principe d'inertie. Voir Alberto G. Ranea, « The *a priori* Method and the *actio* Concept Revised. Dynamics and Metaphysics in a unpublished controversy between Leibniz and Denis Papin », *Studia Leibnitiana*, XXI, 1, 1984, p. 42-68, en particulier p. 63-64. Papin ne conçoit pas qu'un corps puisse agir lorsqu'il est animé d'un mouvement rectiligne uniforme dans le vide : « [il] se meut sans rencontrer rien sur quoy agir et de qui il puisse aussi recevoir de l'altération », lettre de Papin à Leibniz du 5 novembre 1696. Leibniz répond le 28 février 1699 que « quand le corps est en mouvement, et résiste au repos, alors je tiens qu'il a une force ou entelechie, qui le fait tendre à continuer le mouvement. D'où il s'ensuit que la masse resiste continuellement à l'entelechie, et ainsi qu'il y a action et reaction dans le corps même ». Voir aussi Fichant, « *Actiones sunt suppositorum*, l'ontologie leibnizienne de l'action », *Philosophie*, n° 53, 1997, p. 145 : « A la critique, formulée notamment par Denis Papin, selon laquelle un corps dans son effet formel de mouvement (que nous qualifierions d'état inertial) n'agit pas proprement, Leibniz a répondu par l'attribution au corps dans cette situation d'une action sur soi-même (*actio in seipsum*) ». Pour ce rapport entre l'inertie naturelle et l'entéléchie, voir Paolo Bussotti, *The Complex Itinerary of Leibniz's Planetary Theory. Physical Convictions, Metaphysical Principles and Keplerian Inspiration*, Cham, Birkhäuser, 2015, p. 32-39.
 - 6 Leibniz, fragment non publié daté de 1702, dans éd. C. Frémont, p. 176. Propos semblables dans Leibniz, *Essais de Théodicée sur la bonté de Dieu, la liberté de l'homme et l'origine du mal*, *Die philosophischen Schriften*, vol. VI, p. 119-120. Leibniz se réfère manifestement ici à la lettre à Debeaune et/ou à celle au marquis de Newcastle déjà évoquées. Concernant le rapprochement opéré par Leibniz entre Kepler et Descartes, tout en ayant conscience des différences entre l'inertie au sens de Kepler et la persistance en un état chez Descartes, voir Howard R. Bernstein, « Passivity and Inertia in Leibniz's Dynamics », *Studia Leibnitiana*, vol. XIII-1, 1981, p. 97-113. Le même article évoque l'inertie naturelle au sens de Leibniz ainsi que la présence d'un état inertiel s'opposant aux agents extérieurs le modifiant.

articles 37 et 38 de la seconde partie des *Principes*, « la 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 »¹. Par ailleurs, écrivant qu'un corps ne fait pas effort pour demeurer en un certain lieu mais fait effort contre celui qui l'en chasse, il précise que « Mons. des Cartes luy même en a entreveu quelque chose, soutenant que le repos même à quelque force ; mais il l'a expliqué d'une manière insoutenable que le R. P. Malebranche a eu raison de refuter »².

Ce qui paraît « insoutenable » tient à la manière dont Descartes justifie cette loi ainsi que le rôle qui lui fait jouer notamment dans l'explication de la dureté ou cohésion des corps³. Pour Descartes, elle résulte de la force de repos des parties constituants le corps : « il n'y a rien qui joigne les parties des corps durs, sinon qu'elles sont en repos au regard l'une de l'autre »⁴. Leibniz considère deux cubes contigus (*A* et *B*) en repos l'un par rapport à l'autre, une boule (*C*) venant heurter *A* dans la direction parallèle aux faces coïncidentes. Le choc ne se transmet pas à *B*, à moins de supposer *A* et *B* attachés, et ceci réfute la thèse cartésienne. Leibniz note cependant « qu'il est vrai qu'alors *A*, par son repos, résistera au choc de *C* et ne pourra être poussé en avant par *C* que si *C* perd quelque chose de sa force [à savoir de son mouvement] ; il est donc également vrai que, dans ce cas, *A* résiste par son repos à la séparation de *B* ; mais cet effet n'est qu'accidentel et ne se produit pas parce que le choc tend à séparer *A* de *B*, mais parce que *A* doit absorber de la force, ce qui se produirait également si *B* n'était pas du tout présent »⁵. Autrement dit, l'erreur de Descartes ne repose pas sur l'absence d'une prise en compte d'une résistance mais sur le rôle surdéterminé qu'il confère à la force de repos et qu'elle ne peut assumer dans l'origine de la cohésion de la matière.

CONCLUSION

Chez Descartes l'introduction de forces pour conserver le mouvement et le repos s'appuie sur une équivalence ontologique entre les deux états. Une loi de persistance fonde alors une résistance et une action qu'oppose un corps immobile. Bien que Descartes élabore ni un concept de force d'inertie ni une loi d'égalité entre l'action et la réaction à la manière de Newton, l'explication de phénomènes, notamment les chocs, requiert une force d'opposition. Quand bien même cette résistance n'existerait pas en tant que propriété de la matière comme chez Newton ou en tant qu'élément d'une « force passive de résistance » qui jointe à « une force ou entelechie » fonde le principe d'inertie chez Leibniz, ces deux savants reconnaissent la présence d'une telle résistance chez leur aîné, résistance dont les effets sont à rapprocher de ceux de leurs propres conceptions de l'inertie. Pardies illustre un autre type de réception de la physique cartésienne. Tout en admettant cette équivalence ontologique, et en recourant à la notion d'indifférence de la matière au mouvement et au repos, il ne prend pas en compte la « grandeur » d'un corps comme élément essentiel à la mesure d'une action, au point d'attribuer au milieu la résistance dont les effets devraient être attribués à l'inertie.

-
- 1 Leibniz, « Animadversiones in partem generalem Principiorum Cartesianorum », *Die philosophischen Schriften*, vol. 4, p. 350-392. Ces remarques ont été écrites en 1692. Les citations proviennent ici de « Remarques sur Descartes », dans *Opusculs philosophiques choisis*, éd. P. Schrecker, p. 46.
 - 2 Lettre de Leibniz à Basnage de Beauval pour Bayle, 1693, *Die philosophischen Schriften*, vol. III, p. 97. Pour cette réfutation de Malebranche, voir Partie I, Chapitre II.
 - 3 Leibniz critique notamment l'argument de la constance de Dieu au fondement de la conservation du mouvement figurant dans Descartes puisqu'elle ne permet pas d'établir ce qui se conserve véritablement, la quantité de mouvement ou la force vive, Leibniz, « Remarques sur Descartes », éd. P. Schrecker, p. 42-43.
 - 4 Descartes, *Principes*, AT IX, art. 55, p. 94. La Partie I, Chapitre II revient sur cette explication cartésienne.
 - 5 Leibniz, « Remarques sur Descartes », éd. P. Schrecker, p. 68. Pour une analyse des critiques de Leibniz à l'encontre de l'explication de Descartes, en particulier le rejet de la force de repos, et sa propre conception de la cohésion, voir Frédéric de Buzon, « Repos ou mouvement conspirant : Leibniz et les articles 54 et 55 de la partie II des *Principia philosophiae* », *Revue d'Histoire des Sciences*, tome 58, n° 1, 2005, p. 105-122.

Cette évocation de Descartes et ces différentes réceptions mettent en reliefs l'originalité de la pensée de Malebranche. Celui récuse que l'action puisse être en propre causée par la matière, le corps réduit à l'étendue ne renfermant aucune idée de force, et s'éloigne alors des réflexions ci-dessus évoquées de Newton et Leibniz. Il ne confère pas non plus le même statut à chacun de ces états de repos et de mouvement comme le fait Pardies car, selon Malebranche, Dieu n'agit pas également pour chacun d'eux ; il ne garde alors de l'argumentation du jésuite que le recours au milieu ambiant pour expliquer une résistance. Bien que chez Malebranche seule une loi de persistance fonde l'action, à l'instar de Descartes, la rupture de cette symétrie entre les deux états implique que le repos ne peut être pensé comme élément fondant une action. Les phénomènes physiques se voient alors interprétés dans un cadre théorique éloignant le philosophe de la formulation de lois et concepts de la mécanique classique.

« FORCE MOUVANTE » ET INERTIE CHEZ MALEBRANCHE

« si l'on ne veut raisonner des corps et de leurs propriétés que sur les idées claires que l'on en peut avoir, on n'attribuera jamais à la matière d'autre force ou d'autre action que celle qu'elle tire de son mouvement »¹

INTRODUCTION

Malebranche considère que la force des corps au repos introduite par Descartes est un « faux principe »², et le présent chapitre vise à préciser le sens de cette formule et à en évaluer la portée. Il ne s'agit pas seulement, pour Malebranche, de corriger ce qu'il estime être localement des erreurs au sein des *Principes* de Descartes, corrections notamment motivées par un rejet de la règle 4 des chocs mais, selon nous, plus globalement, d'énoncer de nouvelles lois de la nature. Notre étude s'appuie essentiellement sur un *corpus* composé de deux ensembles : l'explication malebranchiste de la dureté des corps et les règles du choc que l'oratorien énonce entre 1675 et 1700 et qui connaissent plusieurs strates d'élaborations³. Descartes fonde la cohésion de la matière sur la force de repos de ses parties constituantes. La critique de Malebranche de cette explication renseigne sur les motivations le conduisant à rejeter le concept cartésien. Il s'agira alors d'examiner les raisons de cette réforme, l'explication concurrente proposée, et les conséquences qu'il faut en tirer au regard des lois et des concepts fondamentaux de la mécanique ; nous remarquerons que les prises de positions de Malebranche excluent la possibilité de penser l'inertie. L'examen des règles du choc complétera ces premières conclusions.

A l'issue de la lecture des explications de la dureté et des chocs la signification de la formule de Malebranche prend tout son sens. Dans le cadre d'une critique de la règle 4 de Descartes, l'absence de force de repos peut signifier que le corps initialement immobile, quand bien même sa « grandeur » excéderait celle du mobile le percutant, acquiert un mouvement : ce corps ne résiste pas de manière absolue comme l'entend Descartes. Mais, s'il faut voir dans cette force un succédané de l'inertie de la matière, la réforme malebranchiste prend un tout autre sens. Malebranche n'admet pas cette résistance comme une propriété propre aux corps et refuse aussi que le mouvement et le repos possèdent une même valeur ontologique. La réaction d'un corps en repos nécessite ainsi d'être expliquée mécaniquement et Malebranche formule une nouvelle loi de la nature se substituant à la loi de persistance de Descartes et dans laquelle seule le mouvement fonde la possibilité d'une action. Le repos ne fait donc pas partie des catégories dynamiques de la physique malebranchiste – car la matière ne résiste pas en propre, car Dieu accorde un supplément d'être au mouvement – et Malebranche substitue à l'opposition cartésienne mouvement-repos l'opposition mouvement-mouvement.

1 Malebranche, OCM, XVII-1, p. 83.

2 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 449. Le Chapitre I de la Partie II analyse le lien entre ce « faux principe » et la révision globale du système du monde de Descartes.

3 Pour un examen de la dureté des corps et des règles du choc selon Malebranche, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie des Sciences*, p. 87-110 et p. 113-192 ainsi que dans Malebranche, *De la recherche*, OCM II, *Notes de l'éditeur*, p. 561-562 et OCM XVII-1, *Notes de l'éditeur*, p. 199-236. Ce chapitre n'évoque pas l'intégralité des réflexions de Malebranche dans chacun de ces deux domaines : la lecture proposée suit pour fil directeur les conséquences de sa réforme de la force de repos relativement au concept d'inertie et à l'énoncé de lois de la nature.

LE REJET DE LA FORCE DU CORPS AU REPOS

Ce rejet apparaît dans le contexte de la recherche de « *la cause physique de la dureté ou de l'union des parties des corps les unes avec les autres* »¹ qui compose le Chapitre IX de la Partie II du Livre VI intitulé « *De la methode* », livre dont le projet est de montrer « les chemins qui conduisent à la connoissance de la vérité, & de donner à l'esprit toute la force & toute l'adresse que l'on pourra, pour marcher sur ces chemins sans se fatiguer inutilement & sans s'égarer »². Après avoir traité des erreurs de l'esprit et de leurs causes dans les cinq premiers livres de la Partie I, Malebranche entend « essayer de rendre à l'esprit toute la perfection dont il est naturellement capable, en lui fournissant les secours nécessaires pour devenir plus attentif & plus étendu ; & en lui prescrivant les règles qu'il faut observer dans la recherches de la vérité pour ne se tromper jamais, & pour apprendre avec le tems tout ce que l'on peut sçavoir »³. Rendre l'esprit attentif requiert d'éviter ce qui détourne de la recherche de la vérité. Mais l'âme est constamment soumise aux sens, aux passions, à l'imagination qui éloignent d'un tel projet ; « il faut faire de nécessité vertu »⁴ et Malebranche entend alors « tirer même de ces modifications des secours pour en tirer quelque avantage »⁵. Augmenter « l'étenduë & la capacité de l'esprit » s'obtient en le « ménageant avec adresse » par l'usage de l'arithmétique et de l'algèbre⁶. Suivent alors, dans la Partie II, les « règles qu'il faut observer dans la Recherche de la Vérité » avec pour fondement ce « principe » stipulant qu'« *il faut toujours conserver l'évidence dans ses raisonnemens, pour découvrir la vérité sans craindre de se tromper* », maxime dont dépend cette « règle générale » que « *nous ne devons raisonner que sur des choses dont nous avons des idées claires : & par une suite nécessaire, que nous devons toujours commencer par les choses les plus simples & les plus faciles, & nous y arrêter fort longtemps avant que d'entreprendre la recherche des plus composées & des plus difficiles* »⁷. Malebranche énonce alors sept règles sur « la manière dont il faut s'y prendre pour résoudre les questions »⁸ avant d'en venir à une dénonciation des errements où conduit le non respect de la « règle générale » chez Aristote et chez « les Philosophes de l'école »⁹.

Ainsi, il critique Aristote et les scolastiques qui ne raisonnent « presque jamais que sur les idées confuses que l'on reçoit par les sens » et sur « d'autres idées vagues, générales, & indéterminées, qui ne représentent rien de particulier à l'esprit » (*ibid.*, p. 300). Il qualifie d'« équivoques » les « termes ordinaires » de cette philosophie tirés des idées sensibles et de la logique. Parce que « les hommes pensent que ce qu'ils sentent, est la même chose que ce qui est dans l'objet ils croient avoir droit de juger des qualitez des objets par les sentimens qu'ils en ont ». Ainsi dira-t-on que l'herbe est verte, qu'elle « a sur elle les couleurs qu'ils y croient voir », l'équivoque des termes entraînant la confusion entre « la maniere d'être des

1 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 420.

2 Malebranche, RDV, VI, I, I, p. 244-245.

3 *Ibid.*, p. 245.

4 Malebranche, RDV, VI, I, II, p. 253.

5 *Ibid.*, p. 252-253. Les passions utiles sont celles qui permettent de se donner la force et le courage de surmonter la difficulté à être plus attentifs, ainsi du « désir de trouver la vérité, d'acquérir assez de lumière, pour se conduire », ou encore du désir « de se rendre utile au prochain ». Concernant le secours des sens, Malebranche évoque l'expression de vérités par des choses sensibles pratiquée par les géomètres dans leur usage des lignes, des figures, *ibid.*, p. 254-261. De la même manière, l'usage de l'imagination pour conserver l'attention est exemplifié par la géométrie : par son secours « l'esprit regle le mouvement de l'imagination ; & l'imagination réglée soutient la vûë & l'application de l'esprit », *ibid.*, p. 262-281.

6 Malebranche, RDV, VI, I, V, p. 286 : « ces sciences apprennent le moyen d'abreger de telle sorte les idées, & de les considérer dans un tel ordre, qu'encore que l'esprit ait peu d'étenduë, il est capable par le secours de ces sciences, de découvrir des vérités tres-composées & qui paroissent d'abord incompréhensibles ».

7 Malebranche, RDV, VI, II, I, p. 296.

8 Pour ces sept règles, *ibid.*, p. 296-298. Sur leur rapport avec celles du *Discours de la Méthode* de Descartes, voir *Notes de l'éditeur*, RDV, VI, II, I, p. 548-549.

9 Malebranche, RDV, VI, II, II, p. 300.

corps avec celle des esprits », puisque « les couleurs que l'on voit ne sont que dans l'ame », (*ibid.*, p. 302). En outre, bien loin de s'en tenir à un jugement « des qualitez sensibles par les sentimens qu'ils en reçoivent : ils jugent des choses mêmes en conséquence des jugemens qu'ils ont fait touchant les qualitez sensibles » : le blé de dur et jaune devient farine blanche et molle, et de ces qualités différentes tombant sous les « yeux et les mains » ils en infèrent des « formes nouvelles » (*ibid.*, p. 304). Parmi les autres « termes équivoques » Malebranche cite notamment les « beaux mots » de « facultez », « puissance », « forme » etc. Or, entre les idées de formes substantielles et facultés puis les effets, il ne se rencontre « aucune liaison » ; ainsi de la forme du feu et les facultés d'échauffer, de raréfier, de produire la fluidité, afin d'expliquer, sous l'effet de la chaleur, le durcissement de la boue et l'amollissement de la cire, qui sont selon Malebranche des faits intelligibles suivant les principes du mécanisme. Voilà donc des « idées vagues & indéterminées » engageant « insensiblement dans l'erreur », ces philosophes voulant que « ces termes signifient certains êtres particuliers » (*ibid.*, p. 305-307).

Malebranche dénonce alors l'attribution aux « corps [de] quelques entités distinguées de la matière » comme « les véritables ou les principales causes des effets que l'on voit arriver » : de « l'idée que l'on a de cause ou de puissance d'agir, on ne peut douter que cette idée represente quelque chose de divin », ce qui conduit à admettre « quelque chose de divin dans tous les corps qui nous environnent ». Le danger consiste à entrer « insensiblement dans le sentiment des Payens » et à idolâtrer de fausses causes qui détournent de Dieu¹. Par ailleurs, l'examen des principes de la philosophie d'Aristote montre qu'il « n'a jamais observé la seconde partie de la règle générale ». En effet, la simplicité requise par cette dernière n'apparaît ni dans le mouvement circulaire considéré par Aristote avec le mouvement rectiligne comme appartenant aux « mouvements simples », tandis que Malebranche le juge au contraire « composé », ni dans les « corps simples » doués d'« une puissance de se remuer » et formant les « corps composez », ceci ne renvoyant pas à des « idées distinctes »².

En contrepoint, Malebranche donne une série d'exemples en accord avec les prescriptions des règles. Parmi ceux-ci figurent, notamment, dans cette Partie II, un « abrégé » de la physique de Descartes qui illustre le respect de la seconde partie de la « règle générale » (Chapitre IV)³, une « explication de la propriété de l'aiman »⁴ et une « recherche de la cause du mouvement de nos membres » (toutes deux dans le Chapitre VIII)⁵. La recherche de « la cause physique de la dureté » (Chapitre IX) correspond à « un exemple un peu étendu, pour mieux faire connoître l'utilité que l'on peut retirer de tout ce Livre ». Il s'agit alors sur ce dernier sujet de rendre compte des « démarches d'un esprit » qui au cours de son examen de cette question particulière « fait effort pour se délivrer de ses préjugés ». Malebranche montre cet « esprit » dans sa quête de la vérité, le faisant d'abord « tomber dans quelque faute » pour que cela réveille « le souvenir » de ce qui a été dit « ailleurs », à savoir dans les passages sur la méthode et ses préceptes ; il le fait « parler positivement » comme « un homme qui prétend avoir résolu la question qu'il a examiné » et regarder rétrospectivement son cheminement⁶. Malebranche n'insère pas cette étude dans le Chapitre VIII, autonomie n'en rendant que plus manifeste l'importance. Des savants de la seconde moitié du XVII^e siècle tels que Leibniz, Jacques Bernoulli ou encore Huygens critiquent l'explication de Descartes de la dureté d'un corps basée sur le repos mutuel de ses parties⁷. Mais, outre l'illustration de la méthode, outre

1 Malebranche, RDV, VI, II, III, p. 309-310.

2 Malebranche, RDV, VI, II, V, p. 347-348.

3 Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 321-345. Pour un examen de cet « abrégé », voir Partie II, Chapitre I.

4 Malebranche, RDV, VI, II, VIII, p. 400-406.

5 *Ibid.*, p. 406-418.

6 *Ibid.*, p. 419.

7 Pour les critiques de ces trois savants, voir de Buzon, « Repos ou mouvement conspirant : Leibniz et les articles 54 et 55 de la partie II des *Principia philosophiae* ». Bernoulli dénonce la tautologie du raisonnement de Descartes : la cohésion de

le mécanisme proposé par Malebranche pour expliquer la dureté, l'importance du propos nous semble résider dans l'analyse critique du concept de force du corps au repos de Descartes qui conduit à l'énoncé d'une nouvelle loi de la nature où l'état de repos se voit exclu de toute capacité dynamique.

REFUS DES EXPLICATIONS « INDISTINCTES » ET DE L'ATOMISME

Malebranche cherche le « je ne sais quoi » responsable de l'union des corps, cette dernière se concevant selon trois manières : par la « continuité », la « contigüité », et une autre sans nom particulier et appelée « union ». Seule la cause de la « continuité » fait l'objet de l'attention du philosophe car elle doit permettre les autres types d'union. Les corps sont unis « par la continuité » lorsque leurs parties se « tiennent si fort les unes aux autres, qu'il faut faire effort pour les séparer, & qu'on les regarde comme ne faisant ensemble qu'un tout ». Ils le sont « par la contigüité » lorsqu'ils « se touchent immédiatement, & qu'il n'y a rien entre eux » ; non « étroitement unis » on peut les séparer facilement (ainsi du « beurre », de « l'eau »). L'« union » est exemplifiée par deux plaques de marbres à surfaces polies posées l'une sur l'autre : « encore qu'on les puisse tres-facilement separer en les faisant glisser, on a pourtant quelque peine à le faire en un autre sens »¹. Dans un premier temps, Malebranche évoque des explications « indistinctes » de l'union (formes substantielles, sympathies) puis une explication « distincte » qu'il réfute (l'atomisme)².

Tout d'abord, Malebranche disqualifie toute approche empirique comme étalon de la force du « je ne sais quoi » qui lie les parties d'un corps : la difficulté à les rompre résulte de « quelque chose de bien puissant » ou de ma « foiblesse » de l'agent ? La mise en évidence du caractère contingent de l'effort dépendant, par exemple, de l'état de santé de l'agent conduit seulement à affirmer que les parties tiennent fortement par rapport « à mon peu de force » ; ceci délivre du préjugé faisant imaginer de « forts liens », qui n'existent alors peut-être pas, et le raisonnement tient lieux de leçon face à cette « pente étrange » conduisant à juger par rapport aux sens³.

Puis, « par ma négligence » et « par ma nature », l'esprit se sent porté à prendre pour cause explicative la « forme des corps » ou « l'amitié & l'inclination qu'elles [les parties des corps] ont pour leurs semblables ». Pourtant, « nous n'avons point d'idées distinctes & particulieres [de ces formes et sympathies], mais seulement de confuses & de générales, que nous ne formons ce me semble que par rapport à nôtre nature & de l'existence même desquelles plusieurs personnes, & peut-être des nations entieres ne conviennent pas »⁴.

Malebranche part ensuite du constat que « tout le monde conçoit distinctement que tous les corps sont composez ou peuvent être composez de petites parties ». Certaines « branchuës & crochuës » pourraient constituer autant de « petits liens capables d'arrêter les autres » et « elles s'entrelaceront toutes dans leurs branches, de sorte qu'ont ne pourra pas facilement les désunir ». Le témoignage des sens conforte cette thèse, les « parties visibles des corps

deux corps n'est rien d'autre que le fait qu'ils ne se séparent pas autrement dit qu'ils ne sont pas mus ; dire qu'il y a cohésion parce que les parties sont en repos revient à dire que cela ne se meut pas parce que c'est au repos. Bernoulli attribue la cohésion d'un corps à la pression d'un milieu ambiant. Leibniz la conçoit par le biais de la notion de « mouvement conspirant ». Huygens critique la *res extensa* de Descartes et reconnaît une dureté primitive d'atomes. Voir aussi pour Huygens, Fabien Chareix, *La philosophie naturelle de Christiaan Huygens*, Paris, Vrin, 2006, p. 134-144.

1 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 420-421. Cette terminologie figure dans la *Theoria motus abstracti* de 1671 de Leibniz : sur ces définitions leibniziennes et la connaissance qu'a Malebranche de cet ouvrage, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie des Science*, p. 88-89 ; Robinet, *Malebranche et Leibniz, relations personnelles, présentées avec les textes complets des auteurs et de leurs correspondants revus, corrigés et inédits*, Paris, Vrin, 1955, p. 28-30 et p. 67-68 ; Mouy, *Le développement de la physique cartésienne*, p. 287-288.

2 Pour un examen de la critique de Malebranche de ces explications, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie des Science*, p. 87-93.

3 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 421-422.

4 *Ibid.*, p. 422.

grossiers » s'unissant ainsi. Mais, se défiant « des préoccupations, & des impressions [des sens] », Malebranche écrit chercher « la raison pourquoi les plus petites & les dernières parties solides des corps, en un mot les parties mêmes qui composent chacun de ces liens se tiennent ensemble » : recourir à d'autres liens contredit l'hypothèse, ces « plus petites & dernières parties » devant être « solides », autrement dit, sans pores c'est-à-dire sans « figures particulières » ; passer outre revient à chercher le lien du lien et ce à l'infini¹. Comment, alors, « les parties de ces petits liens ou de ces parties branchuées peuvent être aussi étroitement unies ensemble » ? Malebranche écrit alors se sentir porté à affirmer que « les petits liens, dont sont composés les corps durs, sont des atomes, dont les parties ne se peuvent diviser, comme étant les parties essentielles & dernières des corps, & qui sont *essentiellement* crochuës & branchuës ». Cependant, ceci revient à « recourir à une forme abstraite, & [...] embrasser un fantôme de Logique », à s'appuyer sur « l'idée vague de *nature* ou d'*essence* », autrement dit à retomber dans les erreurs déjà dénoncées des scolastiques consistant finalement à « prendre [...] une forme abstraite & universelle, comme une cause physique d'un effet très-réel ». Il s'avère impossible de « concevoir » ces liens indivisibles ; Malebranche les conçoit au contraire « très-divisibles, & nécessairement divisibles par leur essence & par leur nature ». Le rejet de cette explication repose sur cette affirmation que deux parties d'un lien jointes ensemble constituent chacune des substances qui, en tant que telles, peuvent exister séparément ceci impliquant la divisibilité de leur lien². Enfin, Malebranche souligne que l'hypothèse de liens « inflexibles par leur essence & par leur nature » impliquerait qu'aucun corps ne puisse être rompu, ce que l'expérience contredit. Les liens ne peuvent pas, non plus, être supposés simultanément flexibles et indivisibles car « il n'y a point de raison, pourquoi si une partie peut un peu s'éloigner de l'autre, elle ne le pourra pas tout-à-fait » ; rompre, c'est avant tout plier³.

LA CRITIQUE DE DESCARTES :

L'INDIFFERENCE DE LA MATIÈRE ET « LA VOLONTÉ DE L'AUTEUR DE LA NATURE »

Selon Malebranche, demeurent alors trois causes conçues « distinctement » pour expliquer l'union des parties des liens : « les parties mêmes de ce petit lien, ou bien la volonté de l'Auteur de la nature, ou enfin les corps invisibles qui environnent ces petits liens »⁴. Les deux premiers points donnent lieu à un examen des thèses avancées dans les *Principes* de Descartes, en particulier les articles 43, 55 et 63 de la deuxième partie de ce livre.

Malebranche cite Descartes qui conçoit qu'il n'existe rien qui joigne les parties d'un corps durs sinon leur repos mutuel ; ce lien ne correspond ni à une substance, ni à « une qualité différente du repos » car « il n'y a aucune qualité plus contraire au mouvement qui pourroit séparer ces parties »⁵. Il convient avec Descartes que « les parties des corps durs demeurent unies, tant qu'elles sont au repos les unes auprès des autres », et qu'une fois au repos, « elles continuent par elles-mêmes d'y demeurer autant qu'il se peut ». Pour autant, Malebranche écrit ne pas de chercher « d'où vient que les parties des corps durs sont en repos les uns auprès des autres » mais souhaite « découvrir d'où vient que les parties de ces corps ont force pour demeurer en repos les unes auprès des autres, & qu'elles résistent à l'effort que l'on fait pour les remuer ou les séparer ». Il convoque à nouveau Descartes, les articles 43 et 63 des *Principes*, pour répondre à ce problème : il pourrait se faire, comme le conçoit Descartes, que

1 *Ibid.*, p. 423-424 Argument présent dans la *Theoria motus abstracti* de Leibniz, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 92 et Robinet, *Malebranche et Leibniz*, p. 68.

2 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 424-425. Pour ce raisonnement, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 92.

3 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 425-426.

4 *Ibid.*, p. 426.

5 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 55, p. 94. Pour une analyse de cette notion de dureté dans l'œuvre de Descartes, voir Roux, *La philosophie mécanique*, p. 409-413.

« chaque corps a véritablement de la force pour continuer de demeurer dans l'état où il est, & que cette force est égale pour le mouvement & pour le repos » et, conséquemment, « ce qui fait que les parties des corps durs demeurent en repos les unes auprès des autres, & qu'on a de la peine à les séparer & à les agiter, c'est qu'on n'emploie pas assez de mouvement pour les vaincre leur repos »¹. Mais Malebranche estime cette solution seulement « vrai semblable » et y oppose sa recherche de la « certitude » :

comment puis-je savoir avec certitude & évidence, que chaque corps a cette force pour demeurer en l'état qu'il est, & que cette force est égale pour le mouvement & pour le repos ; puisque la matière paroît au contraire indifférente au mouvement & au repos, & absolument sans aucune force².

La seule certitude portant sur la matière concerne son identification à l'étendue, ce qui n'implique aucune idée de force, la matière paraissant « indifférente ». Cette dernière notion conduit Pardies à refuser que la masse joue un rôle dans les chocs et l'enjeu des analyses de Malebranche dépasse le cadre d'une explication de la cohésion³ : comment Malebranche peut expliquer la résistance éprouvée à une mise en mouvement si le corps est « absolument sans aucune force » ? L'équivalence ontologique soutenue par Descartes entre les états de mouvement et de repos solutionnerait la difficulté, mais le doute porté à l'encontre de l'article 43 invite plus globalement à une réflexion sur la première loi du mouvement cartésienne et à repenser le rapport entre ces deux états, puisque l'article 43 dépend de cette loi⁴.

Malebranche cite les articles 37, 45 et « ceux qui suivent » de la seconde partie des *Principes* de Descartes, autrement dit ceux énonçant la première loi de la nature, ceux exposant les règles du choc et l'explication de la dureté, et énonce cette hypothèse « qu'il peut se faire que Dieu veuille que chaque corps demeure dans l'état où il est, & que sa volonté soit la force qui en unit les parties les unes aux autres » ; « il peut se faire que Dieu veuille, que chaque chose demeure en l'état où elle est, soit qu'elle soit en repos, ou qu'elle soit en mouvement ; & que cette volonté soit la puissance naturelle, qu'ont les corps pour demeurer dans l'état où ils ont une fois été mis »⁵. Mais lorsqu'il s'agit de savoir si Dieu veut par « une volonté positive que les corps demeurent au repos », le philosophe estime n'en posséder « point de preuve certaine » et « il semble qu'il suffit que Dieu veuille qu'il y ait de la matière, afin que non seulement elle existe, mais aussi afin qu'elle existe au repos ». Tel n'est pas le cas pour le mouvement :

parce que l'idée d'une matière muë renferme certainement deux puissances ou efficaces, ausquelles elle a rapport, celle qui l'a créée, & de plus celle qui l'a agitée. Mais l'idée d'une matière en repos ne renferme que l'idée de la puissance qui l'a créée, sans qu'il soit nécessaire d'une autre puissance pour la mettre en repos : puisque si on conçoit simplement de la matière sans songer à aucune puissance, on la concevra nécessairement en repos. C'est ainsi que je conçois les choses : j'en dois juger selon mes idées ; & selon mes idées, le repos n'est que la privation du mouvement : je veux dire, que la force prétendue qui fait le repos, n'est que la privation de celle qui fait le mouvement, car il suffit ce me semble que Dieu cesse de vouloir qu'un corps soit muë, afin qu'il cesse de l'être, & qu'il soit en repos⁶.

Cette thèse complète la première série d'arguments. En effet, la conception de la matière ne renvoie pas à une idée de forces inhérentes (des « entitez distinguées de la matière »⁷) et, en ceci, Malebranche rejoint Descartes. En effet, pour Malebranche « la force mouvante des corps n'est [...] point dans les corps qui se remüent, puisque cette force n'est autre chose que

1 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 427. Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 43 et 63, p. 43 et p. 100-101.

2 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 427-428.

3 Voir Partie I, Chapitre II.

4 Sur cette dépendance, voir Partie I, Chapitre I.

5 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 428.

6 *Ibid.*, p. 428-429.

7 Malebranche, RDV, VI, II, III, p. 309.

la volonté de Dieu. Ainsi les corps n'ont aucune action »¹. Il souligne « l'équivoque du mot mouvement » : « ce terme signifie ordinairement deux choses : la première est une certaine force, qu'on imagine dans le corps mû, qui est la cause de son mouvement : la seconde est le transport continu d'un corps, qui s'éloigne ou qui s'approche d'un autre, que l'on considère comme au repos » ; et il ajoute qu'« on est ce me semble dans des erreurs tres-grossières, & mêmes tres dangereuses touchant la force, qui donne le mouvement & qui transporte les corps »². Ces propos sont à rapprocher de la distinction cartésienne entre « le mouvement pris selon l'usage commun », définit comme l'« action par laquelle un corps passe d'un lieu dans un autre », et le « mouvement proprement dit » qui est « le transport & non pas la force ou l'action qui transporte »³.

Mais s'il rejoint Descartes sur ces aspects, ce dernier conçoit aussi une action divine conférant une force pour demeurer au repos et résister à un changement d'état, ce que réfute Malebranche. Il faut finalement, pour rejeter cette force, que Malebranche récuse cette équivalence d'actions et prône un supplément d'être au mouvement au détriment du repos : la matière ne résiste pas car elle ne renferme aucune idée de force et parce que la « volonté positive » de Dieu ne concerne que le mouvement.

LE REPOS COMME PRIVATION DU MOUVEMENT

Le rejet de la force de repos fonctionne sur l'opposition des couples mouvement-monde créé/repos-néant. Lorsqu'une boule se meut, « la force [...] qu'a cette boule que je vois rouler, c'est la volonté de Dieu qui l'a fait rouler », tandis que le repos ne requiert aucune « volonté positive » : « il suffit qu'il [Dieu] cesse de vouloir qu'elle soit agitée » et « la cessation de cette volonté de Dieu sera la cessation du mouvement de la boule, & par conséquent le repos » ; « la volonté de Dieu, qui étoit la force qui remüoit la boule, n'étant plus : cette force ne sera plus, la boule ne sera donc plus müe ». Dès lors, « le repos n'a [...] point de force qui le cause », « ce n'est donc qu'une pure privation qui ne suppose point en Dieu de volonté positive » ; selon Malebranche, « ce seroit admettre en Dieu une volonté positive sans raison & sans nécessité, que de donner aux corps quelque force pour demeurer au repos »⁴.

A contrario, peut-on concevoir le mouvement comme une privation du repos ? Malebranche demande ce qu'il faut que Dieu fasse pour agiter une boule au repos, et il estime qu'il ne suffit pas qu'il cesse de vouloir qu'elle reste au repos. Si « Dieu cesse de vouloir qu'elle [la boule] soit en repos », écrit-il, « je ne vois pas que la boule se remüe », Malebranche demandant alors « de quel côté » et « selon quel degré de mouvement » elle le serait. La « détermination » et le « degré de mouvement » sont deux modes inséparables de la chose mue et, en supposant que Dieu cesse de vouloir le repos, « il est impossible de concevoir qu'elle aille avec quelque degré de mouvement » car « les mouvemens sont d'une infinité de façons, ils sont capables du plus & du moins », tandis que « le repos n'étant rien, ils [les repos] ne peuvent differer les uns des autres »⁵. Le raisonnement se conclut par une analogie avec la Création qui invite à assimiler le repos, « pure privation », à un « néant » :

afin que Dieu crée un monde, il ne suffit pas qu'il cesse de vouloir qu'il ne soit pas : mais il est nécessaire qu'il veuille positivement la manière dont il doit être. Mais pour l'anéantir il ne faut pas que Dieu veuille

1 *Ibid.*, p. 313.

2 Voir aussi Malebranche, RDV, I, VIII, § I, p. 101-102.

3 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 24 et art. 25, p. 75-76. Gueroult souligne que c'est à Descartes que Malebranche reconnaît « le mérite d'avoir réfuté les erreurs auxquelles cette force mouvante donnait lieu [...] Toutes ces thèses [les causes naturelles comme causes occasionnelles et non réelles], y compris la position du concept de cause occasionnelle, ne sont que le commentaire libre des articles 36 et 37 de la seconde partie des *Principes* », voir Gueroult, « Métaphysique et physique de la force chez Descartes et Malebranche », n° 2, p. 131.

4 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 430.

5 *Ibid.*, p. 430-431.

qu'il ne soit pas, parce que Dieu ne peut pas vouloir le néant par une volonté positive : il suffit seulement que Dieu cesse de vouloir qu'il soit¹.

Selon Robinet, « cette discussion relève [...] d'un extrémisme occasionnaliste qui exclut radicalement de la matière corporelle toute trace d'énergie, même potentielle, toute possibilité d'apprécier de manière quelconque une "force de repos", ne serait-ce que par la "grandeur" puisque celle-ci s'avère inappréciable »². Pour autant, des philosophes et des savants se réclamant de l'occasionalisme tels que Louis de la Forge, François Lamy et Jean François Trabaud, admettent l'existence d'une force pour demeurer au repos et il semble alors qu'il faille ici souligner l'originalité du raisonnement de Malebranche ; Dieu pourrait aussi bien agir également pour les deux états de mouvement et repos, et ce dans le cadre même de la doctrine des causes occasionnelles³.

La « privation » renvoie, avec la forme substantielle et la matière première, à un des trois principes des choses naturelles selon Aristote. La matière, « pure puissance », devient substance par sa combinaison avec une forme⁴. La privation consiste en l'absence d'une forme, mais elle existe dans la matière susceptible de recevoir cette forme : elle ne s'apparente pas à un rien, mais à ce qui rend possible la génération de la substance comme sa cause *per accidens*⁵. Pour autant, le terme ne paraît pas conservé dans le péripatétisme tardif, et il semble que du sens scolastique ne soit gardée que l'idée d'opposition à la forme, c'est-à-dire l'idée d'absence de qualités ou propriétés, et que cette opposition fasse place à celle entre le non-être et l'être⁶. Dans *Le Monde*, suite à l'énoncé de la première règle du mouvement, Descartes critique la thèse scolastique du repos conçu comme simple « privation » de mouvement : les philosophes de l'Ecole « attribuent au moindre de ces mouvements un être beaucoup plus solide & plus véritable qu'ils ne font au repos, lequel ils disent n'en être que la privation. Et moy, je conçois que le repos est aussi bien une qualité, qui doit être attribuée à la matière, pendant qu'elle demeure en une place, comme le mouvement en est une qui luy est

- 1 *Ibid.*, p. 431. Voir aussi Malebranche, *Entretiens sur la métaphysique et sur la religion*, OCM XII, « Entretien VII », §§ VII à IX. Voir § IX p. 158 : le néant « ne peut être le terme des volontés divines. Assurément le néant n'a point assez de réalité, lui qui n'en a point du tout, pour avoir quelque rapport avec l'action d'un Dieu, avec une action d'un prix infini. Donc Dieu ne peut vouloir positivement l'anéantissement de l'Univers ».
- 2 Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 99.
- 3 Pour La Forge, voir la conclusion de ce chapitre ; pour Lamy et Trabaud, voir Partie I, Chapitre III.
- 4 « J'appelle matière ce qui n'est par soi, ni existence déterminée, ni une certaine quantité, ni d'aucune autre des catégories par lesquelles l'Être est déterminé », Aristote, *Métaphysique Z 3*, 1029a 20, trad. J. Tricot, Paris, Vrin, 1981 ; « *Materia secundum se est pura potentia, id est, neque actus, nec aliquid ex potentia et actu compositum. Hæc assertio est tam Peripateticæ quam Platoniciæ scholæ communis* » (« La matière en soi est pure puissance, c'est-à-dire, ni l'acte ni rien de la combinaison de la puissance et de l'acte. Cette assertion est commune dans les écoles péripatéticienne et platonicienne »), *Commentarii collegii Conimbricensis, Commentarii in octo libros physicorum Aristotelis*, Conimbriciæ, 1592, Lib. I, Cap. 9, quæst. 3, art. 1, dans Etienne Gilson, *Index scolastico-cartésien*, Vrin, Paris, 1979 (2^e éd.), texte 273, p. 170.
- 5 Sur ce point, voir Roger Ariew et Alan Gabbey, « The scholastic background », dans *The Cambridge History of Seventeenth-Century Philosophy*, éd. Daniel Garber et Michael Ayers, Cambridge University Press, Cambridge, 1997, vol. 1, p. 430 ; voir Eustachius a Sto Paulo, *Summa philosophica quadripartita, de rebus Dialecticis, Moralibus, Physicis et Metaphysicis, Authore, Fr. Eustachio a Sancto Paulo, a congregatione Fuliensi*, Parisiis, Carolus Chastellain, 1609, dans Gilson, *Index*, texte 381, p. 245. Sur la distinction entre privation et négation, voir Suarez, *Metaphysicorum disputationum, in quibus et universa naturalis theologia ordinate traditur, et quætionones omnes ad duodecim Aristotelis libros pertinentes accurate disputantur*, Salmanticæ, 1597, dans Gilson, *Index*, p. 245 : « *privatio dicit carentiam in subjecto apto nato, negatio vero dicit carentiam in subjecto simpliciter* » (« la privation exprime l'absence de ce qui est disposé à naître, la négation exprime simplement l'absence »).
- 6 Voir Ariew et Gabbey, « The scholastic background », p. 430. Sur la distinction entre privation et négation, voir la note précédente. Voir « Privation » dans *Le Dictionnaire de l'Académie Française* (1694), p. 326 : « manque ou perte de bien, d'un avantage qu'on devroit avoir. *La privation de la veuë, la privation de l'oüïe, il est dans une privation de toutes choses. Aristote reconnoist trois principes des choses naturelles, la forme, la matière, la privation* ». Le *Nouveau Dictionnaire de l'Académie Française*, Paris, Jean-Baptiste Coignard, 1718, t. 2, p. 366 reprend le texte de 1694 en ajoutant notamment que le mot « se dit aussi en termes de Philosophie, pour marquer negation absoluë : Et c'est dans cette acception qu'on dit, *Aristote reconnoist trois principes des choses naturelles : la privation, la forme & la matière* ».

attribuée, pendant qu'elle en change »¹. Il en résulte, dans les *Principes*, l'élaboration des concepts de forces du corps au repos et en mouvement. Aussi, Descartes énonce « qu'il n'est pas requis plus d'action pour le mouvement que pour le repos », propos illustré avec les mises en mouvement et à l'arrêt d'un bateau, ces changements nécessitant de fournir autant de force pour l'un comme pour l'autre : la force pour produire ou cesser un mouvement provient de la loi de persistance qui fonde les forces que le corps oppose au changement de chacun de ces deux états². Une fois son existence posée, la force de repos peut avoir, selon Descartes, différents degrés puisqu'elle dépend de la grandeur du corps immobile et de la vitesse du mobile incident³. Malgré la proximité des deux exemples, celui du bateau chez Descartes et celui de la boule chez Malebranche, les conclusions des philosophes diffèrent.

En effet, bien que Malebranche récuse que le repos soit le terme du mouvement et bien qu'il s'oppose en cela aux scolastiques à l'instar de Descartes, cela ne signifie pas pour autant que cet état ne soit pas perçu comme une privation et ce au regard des forces conférées aux mouvements et au repos. Lors de l'analyse malebranchiste exposée ci-dessus de l'équivalence des états relativement à la notion de privation – faut-il concevoir le mouvement comme une privation de repos et au même titre que le repos est une privation de mouvement –, Malebranche critique « plusieurs personnes très éclairées » ou encore des « Messieurs », sans préciser davantage, soutenant la thèse de l'équivalence : son jugement vaut donc autant contre Descartes que contre des savants contemporains⁴. Sans chercher à identifier ces derniers⁵, remarquons que Pierre Sylvain Régis soutient une telle opinion en affirmant qu'« il y a de la force & de l'action positive dans le repos comme dans le mouvement ; car si nous considérons bien la nature du repos & du mouvement, nous trouverons que le mouvement peut être aussi appelé une cessation du repos, que le repos est appelé une cessation de mouvement, ou plutôt nous trouverons que le mouvement & le repos sont effectivement quelque chose de réel & de positif »⁶. Au demeurant, « tout ce qu'il y a d'action réelle & positive dans les corps, n'est autre chose que la volonté que Dieu a de les mouvoir, ou de les tenir en repos »⁷ ; volonté s'exprimant à travers une loi de persistance de chacun de ces états⁸. En somme, lorsque Malebranche considère le repos comme une « privation » et qu'il n'en fait pas l'objet d'une « volonté positive », il s'agit bien de rompre avec des thèses inspirées par Descartes et s'il n'existe pas *de* forces de repos de la même manière qu'il existe *des* forces mouvantes, c'est avant tout parce que la question de *la* force de repos ne se pose pas : « je conçois seulement que les corps qui sont en mouvement, ont une force mouvante, & que ceux qui sont en repos, n'ont point de force pour leur repos »⁹.

LE ROLE DE LA MATIERE SUBTILE

1 Descartes, *Le Monde*, AT XI, p. 40.

2 Pour cet article, voir Partie I, Chapitre I.

3 Descartes, *Principes*, II, art. 49, p. 90-91 : « il est certain que *C* [au repos] doit d'autant plus résister, que *B* vient plus vite vers luy ; & que sa résistance doit prevaloir à l'action de *B*, à cause qu'il est plus grand que luy ». Voir pour la quantification de cette force les hypothèses de Gabbey dans Partie I, Chapitre I. Voir Guerout, « Métaphysique et physique de la force chez Descartes et Malebranche », n° 2, p. 93 : « on peut calculer en chaque circonstance la force de résistance du corps en repos, cette force s'accroissant en fonction directe de la vitesse du corps choquant. D'où l'on voit que la force de repos varie, qu'elle présente des degrés, qu'elle a de ce fait des propriétés, et que, par conséquent, elle n'est pas un néant ».

4 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 429-430.

5 Costabel évoque une « allusion au P. Pardies et à l'école jésuite (Fabri, Dechales) », voir OCM XVII-1, *Notes de l'éditeur*, note 17, p. 203. Pour Pardies, voir Partie I, Chapitre I.

6 Pierre Sylvain Régis, *Système de Philosophie, contenant la Logique, Métaphysique & Morale*, Lyon, Anisson, Posuel & Rigaud, 1691, t. II, p. 65-66.

7 *Ibid.*, p. 72-73.

8 *Ibid.*, p. 97.

9 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 429-432.

Pour Malebranche le moindre mouvement ou effort renfermera toujours plus de force que le repos, et le plus petit corps qu'on peut concevoir mouvra toujours un autre plus grand au repos puisque ce dernier ne possède « aucune puissance pour résister ». Par conséquent, la résistance qu'opposent les parties d'un corps à leur séparation ne résulte pas du seul repos¹.

L'explication de malebranchiste de la cohésion repose sur l'action d'« une matière invisible qui les [corps] environne, laquelle étant extrêmement agitée, pousse avec beaucoup de violence les parties extérieures & intérieures de ces corps, & les comprime ainsi de telle sorte, que pour les séparer, il faut avoir plus de force que n'en a cette matière invisible laquelle est extrêmement agitée »². Si

les parties des corps durs [...] sont si fort unies les unes aux autres, c'est qu'il y a d'autres petits corps au dehors infiniment plus agitez que l'air grossier que nous respirons, qui les poussent & qui les compriment : & que ce qui fait que nous avons de la peine à les séparer n'est pas leur repos, mais l'agitation de ces petits corps qui les environnent, & qui les compriment. De sorte que ce qui résiste au mouvement n'est pas le repos, qui n'en est que la privation, & qui n'a de soi aucune force, mais quelque mouvement contraire qu'il faut vaincre³.

Un astérisque accolé à cette citation et propre à la sixième édition de *De la recherche* invite à consulter la fin de l'*Eclaircissement XVI* de ce livre où, écrit Malebranche, « je suppose la force centrifuge des tourbillons de matière subtile »⁴. Cette conception définitive de la matière subtile comme un assemblage contigu de petits tourbillons de fluide implique des forces de très grandes intensités pressant les parties des corps selon toutes les directions⁵. La cohésion, et donc la résistance des parties au repos d'un corps, s'explique par cette compression, autrement dit par une action de sens opposé à celle de la force séparant les parties d'un corps. Comme en atteste l'examen des règles des collisions, le terme « résistance » n'intervient chez Malebranche que pour des chocs impliquant des mouvements de sens opposés : d'une manière générale, ceci vaut pour la cohésion comme pour la collision, la « résistance » nécessite des « déterminations » contraires⁶.

Malebranche introduit une première série d'exemples impliquant l'action d'un milieu extérieur (« l'air grossier »), visant à justifier la possibilité d'une « poussée » et d'une « compression » par des « petits corps infiniment plus agitez que l'air grossier ». Dans les « expériences de Magdebourg d'Otton de Guericke », une fois le vide fait, « l'action des chevaux qui [tirent] les deux hémisphères de deux côtés, ne [peuvent] pas vaincre l'effort d'une infinité de petites parties d'air qui leur résistoient, en pressant ces deux hémisphères ». L'union des deux hémisphères provient de la compression sur la surface « extérieure & convexe » qui n'existe pas « en même temps dans leur surface concave & intérieure » ; en laissant rentrer l'air entre ces hémisphères, la séparation se fait sans difficulté par une seule personne. La « vessie de carpe » remplie d'air dans un vase dont on fait le vide « crève & se rompt, parce qu'alors il n'y a point d'air au dehors de la vessie qui résiste à celui qui est dedans ». Enfin, la difficulté éprouvée à séparer deux plaques de marbre (ou de verre) posées l'une sur l'autre vient de ce qu'elles « sont pressées & comprimées par l'air de dehors qui les environne, & ne le sont point si fort poussées par le dedans »⁷.

1 *Ibid.*, p. 432.

2 *Ibid.*, p. 437. Comme le note Roux, *La philosophie mécanique*, p. 411 à propos de ce type d'explications de la cohésion des corps, « pour que les corps microscopiques s'enchevêtrent ou soient pressés par la matière subtile, il faut déjà qu'ils soient durs ». Malebranche n'échappe pas à une question de fond : que presse exactement la matière subtile si ce n'est nécessairement quelque chose de dur sur quoi son action puisse s'exercer ?

3 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 439.

4 *Ibid.*

5 Pour ces petits tourbillons, voir Partie II, Chapitres I et II.

6 Sur cette question, voir dans ce chapitre la section relative aux règles du choc.

7 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 438-439. Pour un examen détaillé de ces exemples, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences*, p. 104-105.

Mais les « petits corps » de la matière subtile environnant les corps solides ne faisant aucune « impression sur nos sens » paraissent « trop foibles pour produire un si grand effet » : une deuxième série d'exemples rend alors compte de la « puissance » considérable de ce fluide et légitime ainsi le nouveau mécanisme de la cohésion. Il s'agit alors de se défaire de ce « préjugé » fondé sur les sens et sur notre difficulté d'imaginer « des corps plus petits & plus agitez » que ceux que nous voyons. Cette dureté ne doit pas avoir pour étalon de mesure les efforts que nous sommes capables de produire car s'ils n'étaient « presque rien » en comparaison de ceux de la matière subtile, celle-ci pourrait expliquer cette cohésion. Or, nos efforts ne proviennent que « d'une tres-petite fermentation » de notre sang, fermentation qui ne résulte que d'« une fort petite communication du mouvement de cette matiere subtile » : rien d'étonnant à ce que notre force ne soit pas si grande que celle de ce fluide. *A contrario*, les effets de la poudre à canon, du feu dans les mines, la pesanteur des corps, effets issus de « l'agitation de ces corps invisibles » de la matière subtile prouvent « la grandeur » de son « mouvement », et il n'est alors pas au-dessus de ses forces « d'unir & de comprimer ensemble les parties des corps durs aussi fortement qu'elles le sont » ; effets qui par ailleurs ne proviennent que d'une communication partielle de la force du fluide¹.

Par ailleurs, ce fluide n'assure pas seulement la dureté, Malebranche en fait le « vrai principe de la physique générale dont dépendent les effets particuliers »² qui explique en particulier les différents états de la matière :

comme il y a toujours beaucoup de parties de cette matiere invisible qui entre & qui circule dans les pores durs [des corps], elles ne les rendent pas seulement durs comme nous venons de d'expliquer ; mais de plus elles sont causes qu'il y en a quelques-uns qui font ressort & se redressent, d'autres qui demeurent ployez, d'autres qui sont fluides & liquides : & enfin elles [les parties de la matière subtile] sont cause non-seulement de la force, que les parties des corps durs ont pour demeurer les unes auprès des autres, mais aussi de celle que les parties des corps fluides ont de s'en separer ; c'est-à-dire que c'est elle qui rend quelques corps durs & quelques autres fluides : durs lorsque leurs parties se touchent immédiatement ; fluides, lorsque leurs parties ne se touchent point, & que la matiere subtile glisse entre-elles³.

Le fluide assure ainsi une continuité physique entre les différents états de la matière, de même qu'il rend compte des deux autres types d'union, la « contiguité » et l'« union »⁴. C'est aussi l'usage d'un raisonnement basé sur un principe de continuité qui permet à Malebranche de dénoncer une incohérence chez Descartes et contribue à la dénonciation de « l'erreur » que constitue à ses yeux l'existence d'une force de repos estimée superflue.

LES ERREURS DE DESCARTES

Malebranche examine alors la source de ce qu'il juge être une « erreur » de Descartes le conduisant à formuler une explication de la dureté erronée et à énoncer des règles du choc fausses. Selon Malebranche, Descartes conçoit que la matière ne peut pas se mouvoir par elle-même et que la force mouvante est la « volonté générale » de Dieu dont la communication par le choc est une conséquence. Mais « il s'est laissé aller à cette pensée, qu'on ne pouvoit

1 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 439-442. Malebranche renvoie à l'*Eclaircissement XVI* de *De la recherche* pour avoir « une preuve suffisante de l'agitation de la matiere subtile », où figure des exemples similaires, voir Partie II, Chapitre I. Pour ces exemples, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences*, p. 105-106.

2 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 270. Voir Partie II, Chapitre I.

3 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 442-443. Malebranche renvoie à nouveau à l'*Eclaircissement XVI* qui explique aussi la fluidité et l'élasticité par l'action des petits tourbillons de la matière fluide. Voir Partie II, Chapitre I.

4 Malebranche écrit que les choses contiguës se touchent si peu qu'il se trouve toujours de la matière subtile qui « passe » entre elles et fait « effort pour continuer son mouvement en ligne droite les empêche de s'unir ». Pour l'« union », la matière subtile passe entre les plaques de marbres accolées ce qui n'est pas le cas de l'air : ce dernier les presse alors par son poids. *Ibid.*, p. 443.

donner les règles de la différente communication des mouvemens, que par la proportion qui se trouve entre les différentes grandeurs des corps qui se choquent, puisqu'il n'est pas possible de pénétrer les desseins & la volonté de Dieu ». Puis, jugeant que « chaque chose avoit de la force pour demeurer dans l'état où elle étoit, soit qu'elle fût en repos ou en mouvement, à cause que Dieu dont la volonté fait la force, agit toujours de la même manière, il a conclu que le repos avoit autant de force que le mouvement », mesurant alors « les effets de la force du repos par la grandeur du corps en repos, comme ceux de la force en mouvement » (*ibid.*, p. 444).

Mais, d'une part, pour Malebranche, « quand même il faudroit en Dieu une volonté positive & efficace pour le repos aussi-bien que pour le mouvement, il ne s'ensuit point que celle qui feroit le repos fût égale à celle qui produiroit le mouvement, Dieu ayant pu subordonner l'une à l'autre & vouloir que la premier cedât toujours à la seconde » (*ibid.*, p. 445 et p. 446-447). D'autre part, il s'« étonne » que Descartes ait soutenu une telle thèse puisque, dans l'article 132 de la quatrième partie de ses *Principes*, Descartes explique « la force qu'ont certains corps pour se redresser » par l'action de la matière subtile tandis qu'« il ne lui attribue pas leur dureté, ou la résistance qu'ils font lorsqu'on tâche de les ployer & de les rompre, mais seulement au repos de leurs parties ». Or, « la cause qui redresse & qui rend roides certains corps, est la même que celle qui leur donne la force de résister lorsqu'on les veut rompre : car enfin la force qu'on emploie pour rompre de l'acier ne diffère qu'insensiblement de celle par laquelle on le ploie jusqu'à ce qu'il soit près de se rompre » (*ibid.*) Dans cet article 132, Descartes écrit que les corps dits « roides » sont ceux qui ont la propriété de « plier » et de « faire ressort » ; ils sont tous formés de pores où la matière subtile peut circuler :

[les] corps [flexibles] ne peuvent estre pliez ..., que la figure de leurs pores ne se change quelque peu, en sorte que la matiere qui a coustume de les remplir, n'y pouvant plus couler si facilement que de coustume, pousse par les parties de ce corps qui l'en empeschent, et aussi fait effort pour les remettre en leur premiere figure. Par exemple, si dans un arc, qui n'est point bandé, les pores qui donnent passage au second element sont exactement ronds, il est évident qu'après qu'il est bandé ..., ces mêmes pores doivent estre un peu plus longs que larges, en forme d'ovales, & que les parties du second element pressent les costez de ces ovales ..., afin de les faire derechef devenir rondes. Et bien que la force dont elles les pressent, estant considérée en chacune de ces parties en particulier, ne soit pas fort grande, toutefois, à cause qu'il y en a tous-jours un fort grand nombre [...] qui agissent ensemble, ce n'est pas merveille qu'elles facent que [...] l'arc se débande avec beaucoup de violence¹.

L'explication du « ressort » repose finalement sur une application de la loi de persistance et de conservation du mouvement : le changement de forme des pores provoque l'empêchement de la circulation du fluide qui en retour agit². C'est probablement de cet article dont Gérald de Cordemoy s'inspire lorsqu'il examine l'élasticité à partir de la circulation d'un fluide subtil. Le principe de conservation du mouvement en ligne droite appliqué à la matière subtile permet au corps fléchi de recouvrer sa figure d'origine :

quand cette lame vient à être courbée, comme ses parties s'écartent du côté de la superficie de la partie convexe, & se rapprochent en la concave, il s'ensuit que les pores s'étressissent en l'une, & s'élargissent en l'autre. De sorte que la matiere subtile qui y coule incessamment, rencontrant le côté de chaque pore, qui est le plus ouvert, s'y insinüe abondamment, & trouvant l'autre côté plus étroit, elle fait un effort

1 Descartes, *Principes*, IV, AT IX, art. 132, p. 270-271.

2 Roux, *La philosophie mécanique*, p. 574 remarque que « le principe de conservation du mouvement en ligne droite a dès lors un objet privilégié qui est la matière subtile ; il devient ici une sorte de principe aristotélicien de retour à l'ordre : non seulement la matière subtile persévère dans son mouvement en ligne droite tant qu'elle n'en est pas détournée, mais elle a la force de maintenir ce mouvement malgré les obstacles, de le rétablir en modifiant les corps qui s'y opposent. La matière subtile qui par sa circulation engendre l'élasticité des corps n'a pas pour seule fonction de remplir l'espace, ce n'est pas un espace concrétisé, un milieu neutre qui aurait pour unique rôle de transmettre des mouvements : elle garantit la régulation des désordres ».

continuel, pour écarter les parties ainsi rapprochées, & continuer son cours en ligne droite. Ce qui ne se peut faire qu'en redessant cette lame, c'est-à-dire, en remettant toutes ses parties en leur première situation¹.

Ainsi, le principe de continuité joue un rôle essentiel dans la dénonciation de ce que Malebranche estime être une incohérence au sein du *corpus* cartésien. Malebranche termine ses réflexions en affirmant qu'« il n'y a aucun corps dur qui ne fasse quelque peu de ressort »².

La lecture des *Principes* suggère alors que Descartes « n'a pas assez fait de réflexion » sur le fait que la dureté et l'élasticité puissent dépendre d'une même cause ; Descartes est demeuré persuadé de son explication de la cohésion et « il n'a pas fait réflexion qu'il assurait quelque chose dans la suite de ses principes qui y étoit contraire ». Il aurait dû « suspendre son jugement », et à l'aune de cet article 132 réexaminer son explication de la dureté. Selon les préceptes de la méthode, « il doit faire une division exacte, & qui comprît tout ce qui pouvoit contribuer à la dureté des corps », en l'occurrence ne pas s'attacher seulement aux corps durs et à ce qui peut les rendre ainsi, mais aussi penser à la matière subtile qui peut les rendre tels et à laquelle il attribue la cause de l'élasticité. Puis, « il ne suffisoit pas encore d'en [la cause de la dureté] chercher la cause en général dans la volonté de Dieu, ses volontés qui font tout le repos & le mouvement pouvant être subordonnées, celle qui fait le repos à celle qui produit le mouvement des corps » (*ibid.*, p. 446-447). Une juste application de la méthode, le rôle attribuée à la matière subtile dans l'article 132 aurait permis de remettre en cause le privilège accordé à la force de repos et, finalement, de s'apercevoir qu'il s'agit là d'un concept superflu ; « ce seroit admettre en Dieu une volonté positive sans raison & sans nécessité, que de donner aux corps quelque force pour demeurer au repos » (*ibid.*, p. 430). Cependant, il lui aurait alors fallu aussi repenser les règles du choc et les lois de ses *Principes*. En effet, Malebranche souligne que les forces du repos et du mouvement de Descartes donnent naissance de manière *apriorique* à des règles du choc, règles que respectent les trois éléments du système du monde de la cosmogonie cartésienne dans leurs collisions et leurs redistributions du mouvement, la cohérence d'ensemble de ce système suggérant en retour le bien-fondé de ces règles et des lois qui les sous-tendent (*ibid.*, p. 447)³.

Bien que Malebranche convienne que « les grands corps communiquent plus facilement leur mouvement que les petits », comme le suggèrent les règles du choc de Descartes, et donc que le « premier élément [de Descartes] est plus agité que le second, & le second que le troisième », ceci en conformité avec ces règles, il juge que ces faits s'expliquent sans l'intervention de la force de repos. En effet, les « petits » corps et les corps fluides ne communiquent à de « grands » corps que le mouvement commun à toutes leurs parties : « l'eau d'une rivière ne peut communiquer à un bateau que le mouvement de la descente qui est commun à toutes les petites parties dont l'eau est composée », lesquelles ont « une infinité d'autres [mouvements] particuliers ». Il faut seulement prendre garde que « si vingt parties d'un corps fluide poussent quelque corps d'un côté, il y en a autant qui le poussent de l'autre : il [le navire] demeure donc immobile, & toutes les parties du corps fluide dans lequel il nage, rejaillissent sans rien perdre de leur mouvement » : un navire ne peut donc jamais avoir « autant de mouvement qu'un égal volume d'eau ». De la même manière, « les corps grossiers, & dont les parties sont unies les unes avec les autres ne peuvent recevoir que le mouvement circulaire & uniforme du tourbillon de la matière subtile qui les environne ». Ceci suffit pour comprendre que « les corps grossiers ne sont point si agitez que les petits, &

1 Géraud de Cordemoy, *Six Discours sur la distinction et l'union du corps et de l'âme*, dans *Œuvres philosophiques* de Cordemoy, éd. Pierre Clair et François Girbal, Paris, PUF, 1968, Discours III, p. 125-126.

2 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 446.

3 Ce raisonnement de Malebranche sera analysé dans la Partie II, Chapitre I.

qu'il n'est point nécessaire pour expliquer ces choses de supposer, que le repos ait quelque force pour résister au mouvement » (*ibid.*, p. 448). Malebranche conclut alors que

la certitude des principes de la Philosophie de M. Descartes ne peut donc servir de preuve pour défendre ses règles du mouvement : & il y a lieu de croire que si M. Descartes lui-même avoit examiné de nouveau ses principes sans préoccupations, & en pensant des raisons semblables à celles que j'ai dites, il n'auroit pas crû que les effets de la nature eussent confirmé ses règles, & ne seroit pas tombé dans la contradiction, en attribuant la dureté des corps durs seulement au repos de leurs parties, & leur ressort à l'effort de la matière subtile (*ibid.*)

En somme, l'examen des *Principes* montre que la nécessité de la distribution des mouvements requise pour le système ne constitue pas une justification des règles et, conséquemment, des lois, ce à partir de quoi peut être révoqué un concept superflu et évitées des incohérences dans les explications.

LOIS DE LA NATURE ET « FORCE MOUVANTE »

Etablir un lien véritable de cause à effet repose sur une relation nécessaire entre une cause et un effet ; une « cause véritable est une cause entre laquelle & son effet l'esprit aperçoit une liaison nécessaire »¹. L'absence « d'idée distincte » concernant les « causes naturelles » conduit à les prendre pour de « véritables causes », alors qu'elles ne sont que des « causes occasionnelles »². Finalement, « il n'y a que l'être infiniment parfait, entre la volonté duquel & les effets l'esprit aperçoive une liaison nécessaire. Il n'y a donc que Dieu qui soit véritable cause, & qui ait la puissance de mouvoir les corps »³ ; « la force mouvante des corps n'est donc point dans les corps qui se remuent, puisque cette force n'est autre que la volonté de Dieu. Ainsi les corps n'ont aucune action : & lors qu'une boule qui se remue, en rencontre & en meut une autre, elle ne lui communique rien qu'elle ait : car elle n'a pas même la force qu'elle lui communique »⁴. La répétition d'événements fait indûment prendre pour causes réelles des causes seulement occasionnelles :

les hommes ne manquent jamais de juger qu'une chose est cause de quelque effet, quand l'un & l'autre sont joints ensemble, supposé que la véritable cause de cet effet leur soit inconnue. C'est pour cela que tout le monde conclut, qu'une boule agitée qui en rencontre une autre, est la véritable, & la principale cause de l'agitation qu'elle lui communique : que la volonté de l'ame est la véritable, & principale cause du mouvement du bras, & d'autres préjugés semblables : parce qu'il arrive toujours qu'une boule est agitée, quand elle est rencontrée par une autre qui l'a choque ; que nos bras sont remuez presque toutes les fois que nous le voulons, & que nous ne voyons point sensiblement qu'elle autre chose pourroit être la cause de ces mouvements⁵.

1 Malebranche, RDV, VI, II, III, p. 316.

2 *Ibid.*, p. 309 et p. 312. Voir aussi Malebranche, RDV, *Eclaircissement XV*, p. 204 : « Il y a bien des raisons qui m'empêchent d'attribuer aux causes *secondes* ou *naturelles*, une force, une puissance, une efficace pour produire quoi que ce soit. Mais la principale est que cette opinion ne me paroît pas même concevable. Quelque effort que je fasse pour la comprendre, je ne puis trouver en moi d'idée qui me représente ce que ce peut être que la force ou la puissance qu'on attribue aux créatures ».

3 Malebranche, RDV, VI, II, III, p. 316.

4 *Ibid.*, p. 313. Sur cet exemple de la boule comme cause occasionnelle, voir aussi Malebranche, RDV, *Eclaircissement XV*, p. 208 ; Malebranche, RDV, III, II, III, p. 426 ; Malebranche, *Entretiens sur la métaphysique et sur la religion*, OCM XII-XIII, p. 161-162. Voir Cordemoy, *Six Discours*, p. 139 : « ce qu'on doit entendre, quand on dit que les corps meuvent les corps c'est, qu'étant tous impenetrables, & ainsi, les mêmes ne pouvant toujours être mûs, du moins avec égale vitesse, leur rencontre est une occasion à l'esprit, qui a mû les premiers, de mouvoir les seconds. Or, comme nous ne considerons pas toujours cette première cause, qui fait mouvoir, & que nous ne nous arrêtons qu'à ce qui se voit, parce que souvent cela suffit pour nous faire entendre ; nous nous contentons, lors que nous voulons dire, pour quoy un certain corps, qui étoit en repos, commence à être mû, d'expliquer comment il a été rencontré par un autre corps, qui étoit en mouvement : alleguant ainsi l'occasion pour la cause [...] un corps n'en peut mouvoir un autre, & [...] c'est quelque esprit, qui les fait mouvoir ».

5 Malebranche, RDV, III, II, III, p. 426. Voir aussi Cordemoy, *Six Discours*, p. 137 : « il faut soigneusement discerner ce qu'on a effectivement reconnu, d'avec ce qu'on a seulement conjecturé : car c'est de la confusion de ces deux choses,

Ainsi, l'expérience dévoile une loi mais, écrit Malebranche, « demeurons-en là »¹.

Mais la « force mouvante » concerne, par définition, un mouvement, et non le repos. Aussi, la liaison nécessaire entre la cause et son effet qui repose au niveau métaphysique par la prise en compte de la volonté divine passe, au niveau physique des causes occasionnelles, par la prise en compte d'un mouvement et de l'effet qu'il est susceptible de produire, Malebranche n'évoquant pas l'effet qu'est susceptible de produire un corps au repos. Ainsi, l'efficace des lois divines régissant ce monde repose sur l'efficace du mouvement, le repos se voyant exclu :

ayant résolu de produire par les voyes les plus simples, comme plus conformes à l'ordre immuable de ses attributs, cette variété infinie de créatures que nous admirons, il a voulu que les corps se mûssent en ligne droite, parce que cette ligne est la plus simple. Mais les corps étant impénétrables, & leurs mouvemens se faisant selon des lignes opposées, ou qui s'entrecoupent, il est nécessaire qu'ils se choquent & qu'ils cessent par conséquent de se mouvoir de la même façon [...] Car je suis persuadé que ces deux loix naturelles qui sont les plus simples de toutes ; sçavoir, que tout mouvement se fasse ou tende à se faire en ligne droite, & que dans le choc les mouvemens se communiquent à proportion, & selon la ligne de leur pression, suffisent, les premiers mouvemens étant sagement distribuez, pour produire le monde tel que nous le voyons [...] Je dis donc que Dieu par la premiere des loix naturelles, veut positivement, & fait par conséquent le choc des corps : & qu'il se sert ensuite de ce choc qui l'oblige à varier son action, à cause que les corps sont impénétrables, comme d'une occasion pour établir la seconde loi naturelle, qui règle la communication des mouvemens ; & qu'ainsi le choc actuel est cause naturelle ou occasionnelle de la communication actuelle des mouvemens, par laquelel Dieu sans changer de conduite, produit une infinité d'ouvrages admirables².

La « force mouvante » fonde la continuation d'un mouvement rectiligne uniforme comme effet d'une cause agissant suivant les voies les plus simples ; le repos, qui n'apparaît pas dans la formulation de la loi, ne bénéficie pas de l'action de la cause première au même titre que le mouvement. Les lois de la nature dans tout le *corpus* malebranchiste qui pourraient se rapprocher de la formulation du principe d'inertie, ces lois que Malebranche découvre dans la contemplation des attributs divins, en particulier la sagesse qui fait agir le Créateur suivant les voies les plus simples, ne contiennent jamais dans leurs énoncés une évocation du repos mais s'attachent uniquement à l'état de mouvement³. Malebranche formule alors une nouvelle loi de la nature se substituant à la fois à « la premiere loy de la nature » et à « la troisième loy »

que viennent toutes nos erreurs sur ce point. Lorsqu'on dit, par exemple, que le corps *B* a chassé le corps *C* de sa place ; si on examine bien ce qu'on reconnoît de certain en cela, on verra seulement que *B* étoit mû, qu'il a rencontré *C*, qui étoit en repos ; & que depuis cette rencontre, le premier cessant d'être mû, le second a commencé de l'être. Mais que l'on reconnoisse que *B* donne du mouvement à *C*, cela n'est en vérité qu'un préjugé, qui vient de ce que nous ne voyons pour lors que ces deux corps ; & que nous avons coûtume d'attribuer tous les effets qui nous sont connus, aux choses que nous appercevons : sans prendre garde que souvent ces choses sont incapables de produire de tels effets, & sans considerer qu'il peut y avoir mille causes, qui, tout imperceptibles qu'elles sont, peuvent produire des effets sensibles ».

1 Ces conclusions valent aussi bien pour l'interaction entre les corps qu'entre l'âme et le corps : « l'expérience m'apprend que je sens de la douleur, par exemple, lorsqu'une épine me pique. Cela est certain. Mais demeurons-en là. Car l'expérience ne nous apprend nullement que l'épine agisse sur nôtre esprit, ni qu'elle ait aucune puissance ». Malebranche, *Entretiens sur la métaphysique et sur la religion*, OCM XII-XIII, p. 151.

2 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XV*, p. 216-217.

3 Voir Malebranche, *Traité de la nature et de la Grâce*, OCM V, p. 30 (d'après l'édition de 1712) : deux « loix du mouvement » expliquent les phénomènes naturels, « la premiere, [...] les corps mûs tendent à continuer leur mouvement en ligne droite : la seconde, [...] lors que deux corps se rencontrent, leurs mouvemens se communiquent de l'un à l'autre, à proportion de leur pression, & selon la ligne de leur pression » ; Malebranche, *Méditations chrétiennes et métaphysiques*, OCM X, p. 71 (1707) : « Les loix générales de la communication des mouvemens se reduisent à ces deux ci. La premiere, que les corps mûs tendent à continuer leur mouvement en ligne droite. La seconde que les corps qui se choquent se meuvent toujours du côté qu'ils sont moins pressés, & de maniere qu'après le choc, il reste toujours la quantité de mouvement de même part » ; Malebranche, *Entretiens sur la métaphysique et sur la religion*, OCM XII, p. 243 (1711) : « A l'égard des loix naturelles du mouvement, Dieu a choisi les plus simples. Il a voulu, & veut encore maintenant que tout corps mû se meuve, ou tende à se mouvoir en ligne droite ; & qu'à la rencontre des autres corps, il ne s'éloigne de la ligne droite le moins qu'il est possible. Que tout corps se transporte du côté vers lequel il est poussé : & s'il est poussé en même temps par deux mouvemens contraires, que le plus grand mouvement l'emporte sur le plus faible. Pour les loix dans l'*Eclaircissement XVI* et RDV, VI, II, IV, voir Partie II, Chapitre I.

de Descartes¹. Ce que Descartes définit comme « *la force de chaque corps pour agir ou pour résister* »², identifiée à la force pour demeurer en mouvement ou en repos et qui résulte d'une loi de persistance, n'affecte pour Malebranche que le seul mouvement : « la volonté de l'Auteur de la nature, qui fait la puissance & la force que chaque corps a pour continuer dans l'état dans lequel il est, ne regarde que le mouvement & non point le repos »³. Seul le mouvement cause « ces changemens qui font tout ce qui arrive de nouveau dans la nature », puisque lui seul exprime l'efficace divine, tandis que le repos ne requiert pas davantage de force que celle créant la matière : « il ne faut point de force pour ne rien faire. Lorsque le rapport d'un corps à ceux qui l'environnent est toujours le même [autrement dit, lorsque le corps est au repos], il ne se fait rien ; & la conservation de ce rapport, je veux dire l'action de la volonté de Dieu qui conserve ce rapport, n'est point différente de celle qui conserve le corps même ». Par ailleurs, bien que Malebranche ne développe pas davantage ce point, il précise ne pas considérer le mouvement et le repos « selon leur être relatif » car, dans ce cas, les corps immobiles ont « des rapports aussi réels à ceux qui les environnent que ceux qui sont en mouvement »⁴ ; le philosophe se place donc au niveau ontologique de l'action de Dieu pour fonder l'absence de force de repos, sans considérer un autre niveau où la relativité du mouvement suggérerait une équivalence entre repos et mouvement.

Cette rupture avec l'équivalence ontologique posée par Descartes entre chacun des deux états paraît donc résulter d'une analyse critique de l'explication cartésienne de la dureté. Malgré tout, Malebranche pourrait estimer que le repos n'a pas de force comme l'entend Descartes – cette force faisant qu'un corps immobile percuté ne peut pas être mis en mouvement – tout en concevant que Dieu agit identiquement pour chacun des deux états : le repos résisterait mais pas à la manière dont Descartes le conçoit dans sa règle 4. Pourquoi Malebranche ne pose-t-il pas une telle équivalence et pourquoi confère-t-il un supplément d'être au mouvement ? Sans prétendre répondre à cette question⁵, au moins peut-on souligner les comparaisons établies par le philosophe entre l'âme et l'étendue, et les parallèles qu'il trace entre les mouvements de la volonté et ceux de la matière. La connaissance de l'âme s'appuie notamment sur une analogie avec l'idée d'étendue. Les propriétés de l'âme déterminées à l'aide de celles de l'étendue suivent deux modalités. D'une part, les deux substances sont considérées comme hétérogènes et la connaissance de certaines propriétés de l'esprit se détermine par ce fait qu'il diffère de l'étendue (les qualités sensibles comme le chaud etc. ne sont pas des modifications de l'étendue donc ce sont des modifications de l'esprit). D'autre part, ces propriétés s'obtiennent par analogie, en transportant celles d'une substance à l'autre⁶. Les deux facultés de l'esprit, l'entendement et la volonté, se voient comparées aux propriétés de l'étendue :

la matiere ou l'étenduë renferme en elle deux proprieté ou deux facultez. La premiere faculté est celle de recevoir différentes figures, & la seconde est la capacité d'être mûë. De même l'esprit de l'homme renferme deux facultez ; la premiere qui est l'*entendement* est celle de recevoir plusieurs *idées*, c'est-à-dire, d'appercevoir plusieurs choses ; la seconde, qui est la *volonté*, est celle de recevoir plusieurs *inclinations*, ou de vouloir différentes choses⁷.

De la même manière que la faculté de recevoir différentes « *figures* » et « *configurations* » de la matière – il s'agit des « figures » extérieures prises par les corps et de leur configuration

1 Voir Partie I, Chapitre I. Dans le sens où cette troisième loi suppose aussi cette force des corps au repos.

2 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 43, p. 88.

3 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 432-433.

4 *Ibid.*, p. 431-432

5 Voir l'introduction pour les interrogations que soulève cette conception malebranchiste dans l'historiographie.

6 Pour une synthèse sur ces questions, voir Moreau, *Malebranche*, p. 107-110 ; Cristian Moisuc, *Métaphysique et théologie chez Nicolas Malebranche. Proximité, éloignement, occasionalisme*, Bucarest, Zetabooks, 2015, p. 135-152.

7 Malebranche, RDV, I, I, p. 41.

interne – est « entièrement passive, & ne renferme aucune action », celle de l'esprit de recevoir différentes « idées » et « modifications » est « purement passive & ne renferme aucune action », et correspond à l'entendement. Par ailleurs, malgré la diversité des idées qu'il reçoit, l'esprit demeure identique à lui-même à l'instar d'une portion de matière donnée (de la cire) qui reste une matière du même type malgré les différentes figures externes qu'elle peut prendre (ronde, carrée)¹. Puis, la matière peut recevoir plusieurs « mouvemens » et l'âme plusieurs « inclinations » :

de même que l'Auteur de la nature est la cause universelle de tous les *mouvemens*, qui se trouvent dans la matière ; c'est aussi luy qui est la cause générale de toutes les *inclinations* naturelles qui se trouvent dans les esprits : & de même que tous les mouvemens se font en ligne droite, s'ils ne trouvent quelques causes étrangères & particulières qui les déterminent, & qui les changent en des lignes courbes par leurs oppositions ; ainsi toutes les inclinations que nous avons de Dieu sont droites, & elles ne pourroient avoir d'autre fin que la possession du bien & de la vérité, s'il n'y avoit une cause étrangère, qui déterminât l'impression de la nature vers de mauvaises fins².

La matière ne peut cependant pas spontanément changer son mouvement imprimé par Dieu, « la matière est toute sans action : elle n'a aucune force pour arrêter son mouvement, ni pour le déterminer & le détourner d'un côté plutôt que d'un autre », tandis que la volonté est « agissante » : « nôtre âme peut déterminer diversement l'inclination ou l'impression que Dieu lui donne [...] elle peut en un sens la détourner du côté qu'il lui plaît, & causer ainsi tout le dérèglement qui se rencontre dans ses inclinations, & toutes les misères qui sont des suites nécessaires & certaines du péché »³. Les mouvements de l'âme et de la matière s'entendent avant tout comme conséquences de la thèse de la création continuée : la « puissance ou activité [de Dieu dans l'âme] est semblable à celle des corps créés en mouvement, dont la force mouvante qui les transporte, & qui les rend actifs sur ceux qu'ils choquent, dépend de l'action de Dieu qui les crée en mouvement. Leur *force mouvante* n'est que l'efficace créatrice de la volonté de Dieu, qui les crée successivement en différents lieux. De même la force pour ainsi dire *voulante* de l'âme [...] est certainement l'effet de la volonté créatrice »⁴. Entendement et volonté reçoivent des idées et des inclinations et se caractérisent par une absence d'activité propre à l'instar de la matière qui reçoit figures et mouvements de Dieu⁵. La volonté correspond à un désir incessant et non comblé par des biens finis ; elle est mue vers l'infini et est toujours « inquiète », à savoir jamais en repos⁶, à l'instar de ce monde en changements permanents causés par la « force mouvante ». L'absence de mouvement de la volonté répond à un « consentement », à l'arrêt sur un bien particulier, « consentement » identifié à un « repos » de l'âme et à un « néant » car elle se détourne du mouvement général imprimé par Dieu la conduisant vers le bien⁷. Par ce raisonnement, « si le péché est repos, et

1 Malebranche distingue les « perceptions pures » que l'âme a des idées qui « ne la pénètrent pas & ne la modifient pas sensiblement » et les « sensibles », l'âme recevant des changements « considérables » quand elle change ses « modifications » en passant par exemple du plaisir à la douleur ; le premier et le deuxième type de perceptions sont à l'âme « à-peu-près » ce que la figure et les configurations sont à la matière, *ibid.*, p. 42.

2 *Ibid.*, p. 45.

3 *Ibid.*, p. 46.

4 Malebranche, *Réflexions sur la prémotion physique*, OCM XVI, p. 46-47.

5 Voir notamment Moreau, *Malebranche*, p. 115-117 ; Alquié, *Le cartésianisme de Malebranche*, p. 384-395.

6 Voir notamment Moreau, *Malebranche*, p. 115-117 ; Alquié, *Le cartésianisme de Malebranche*, p. 384-395.

7 Malebranche, RDV, *Eclaircissement I*, p. 18 : « Dieu nous pousse sans cesse vers le bien en general. Car Dieu nous a faits, & nous conserve pour lui ; il veut que l'on aime tout ce qui est bon ; il est le premier ou plutôt l'unique Moteur ». Voir aussi p. 24-25 : « que faisons-nous quand nous ne péchons point ? Nous faisons alors tout ce que Dieu fait en nous ; car nous ne bornons point à un bien particulier, ou plutôt à un faux bien, l'amour que Dieu nous imprime pour le vrai bien. Et quand nous péchons, que faisons-nous ? Rien. Nous aimons un faux bien, que Dieu ne nous fait pas aimer par une impression invincible. Nous cessons de chercher le vrai bien, & rendons inutile le mouvement que Dieu imprime en nous. Nous ne faisons que nous arrêter, que nous reposer. C'est par un acte, sans doute, mais par un acte immanent qui ne produit rien de physique dans notre substance ; par un acte qui dans ce cas, n'exige pas même de la vraie cause quelque effet physique en nous, ni idées ni sensations nouvelles ; c'est à dire, en un mot, par un acte qui ne fait rien & ne fait rien à

si le repos n'exige aucune force positive, on peut comprendre que le péché ait sa source dans l'homme, et que Dieu ne le cause en aucune façon »¹. En effet, bien que cause de tout, « Dieu n'a pas à être cause de ce qui n'est pas. Dieu est cause de tout être, non du néant. Et le consentement est néant » ; conséquemment « ontologiquement, la liberté n'est rien », à l'instar du repos, et « Malebranche [...] applique à la liberté des schémas issus de sa physique »².

Le néant renvoie à l'absence de propriétés et la maxime selon laquelle « le néant n'a pas de propriété » constitue, par exemple, le premier axiome de la métaphysique de Malebranche et de Jacques Rohault³. Ce dernier reconduit une distinction des propriétés en deux catégories, la « *propriété essentielle* » (« ce que nous concevons convenir à un sujet, & qui est une suite nécessaire de son essence ») et la « *propriété accidentelle* » ou « simplement *un accident* » (« ce que l'on conçoit être indifférent à un sujet, ou qui luy convient de telle sorte, qu'il pourroit bien ne luy convenir sans cesser d'être ce qu'il estoit »)⁴. La matière comporte quatre propriétés essentielles : l'étendue, la figure, l'impénétrabilité, la divisibilité ; les accidentelles sont la pesanteur, la froideur, la dureté etc. car « il n'y a pas une de ces choses qui soit inseparable de la matière »⁵. Lorsque Malebranche définit le repos comme privation, il entend que par lui-même il ne peut rendre compte des « propriétés accidentelles » énoncées par Rohault, en particulier de la dureté des corps. La privation est privation de mouvement, à savoir de cette « force mouvante » qui seule renferme une idée claire de l'action, donc des changements qui en résultent, et qui se conçoit comme l'unique cause mécanique de tout effet. En ce sens, le repos s'identifie à un « néant » puisque les changements affectant ce monde nécessitent des mouvements. Pour Malebranche, le mouvement, et seulement lui, en tant qu'expression d'une efficace divine, permet d'établir une connexion nécessaire entre une cause et un effet. Ainsi, à l'issue d'un choc d'un mobile contre un corps au repos, il n'y aura pas lieu de concevoir une perte de vitesse comme l'effet de la réaction de ce dernier puisque son état ne renferme aucune idée d'action (car privé de mouvement) et conséquemment cet effet ne saurait être relié au repos conçu comme cause. Nous examinons ce point à travers les règles du choc énoncées par Malebranche.

LES REGLES DU CHOC ET L'INERTIE

Les différentes éditions de *De la recherche*, ainsi qu'un livre de 1692⁶, témoignent de l'évolution de la pensée du savant concernant l'élaboration des règles du choc, et composent autant de strates de réflexions aboutissant à la théorie définitive de 1700 à 1712. Le tableau ci-dessous synthétise les différentes sources disponibles concernant les collisions inélastiques

la cause general entant que generale ; où faisant abstraction de sa justice ; car le repos de l'ame comme celui des corps n'a nulle force ou efficace physique ». Sur le péché et son lien avec le néant, *ibid.*, p. 36 : « Peut-on penser que le péché qui n'est rien, produise actuellement quelque chose ? Peut-on concevoir que le neant soit une cause veritable ? »

- 1 Alquié, *Le cartésianisme de Malebranche*, p. 383-384. Malebranche, RDV, *Eclaircissement I*, « Dieu n'est point Auteur du péché, puisqu'il imprime incessamment à celui qui peche, ou qui s'arrête à un bien particulier, du mouvement pour aller plus loin, qu'il lui donne le pouvoir de penser à d'autres choses, & de se porter à d'autres biens qu'à celui qui est actuellement l'objet de sa pensée & de son amour ».
- 2 Alquié, *Le cartésianisme de Malebranche*, p. 383.
- 3 Voir Malebranche, *Entretiens sur la métaphysique et sur la religion*, OCM XII-XIII, p. 32. Voir aussi Malebranche, RDV, III, II, I p. 415 et IV, XI, § II, p. 90. Jacques Rohault, *Traité de physique*, Veuve de Charles Savreux, Paris, 1671, p. 29 : « le Neant ou le Rien n'a aucune propriété. Ainsi, l'on ne peut pas dire que le Neant eschauffe ou refroidisse, qu'il soit divisible, & qu'il ait des parties, &c. C'est pourquoy là où l'on reconnoitra quelque propriété que ce puisse estre, là aussi il faut dire qu'il y a quelque chose, & un veritable Estre ». Voir aussi Descartes, *Principes I*, AT IX, art. 11, p. 29 : « le néant n'a aucune qualitez ni proprieté ».
- 4 Rohault, *Traité de physique*, p. 25-26.
- 5 *Ibid.*, p. 35-37.
- 6 Malebranche, *Des loix de la communication des mouvemens*, Paris, André Pralard, 1692. Ce texte figure dans OCM, XVII-1.

et élastiques dans l'œuvre du philosophe et le type de conservation de la quantité de mouvement utilisé :

Sources disponibles ¹	Nature des corps et principes de conservation du mouvement
Quatre premières éditions de RDV (1675 ² , 1676, 1678 et 1688)	Corps durs ³ Conservation de la quantité de mouvement scalaire
<i>Des loix de la communication des mouvemens</i> , 1692	Corps durs et élastiques Dans les deux cas, conservation de la quantité de mouvement scalaire
Source B (marginalia de Malebranche sur son exemplaire personnel du traité de 1692, courant 1698)	Corps durs et élastiques. Dans les deux cas, conservation de la quantité de mouvement scalaire
Annotations de Malebranche du traité de 1692 transcrites par J. Lelong et destinées à C.-R. Reyneau dans des lettres des 20 juin 1699 (source B1) et 11 juillet 1699 (source B2)	Corps durs : conservation de la quantité de mouvement scalaire et de la quantité de mouvement comptée algébriquement Corps élastiques : conservation de la quantité de mouvement comptée algébriquement
Deux dernières éditions de RDV (1700, 1712)	Corps durs : conservation de la quantité de mouvement scalaire et de la quantité de mouvement comptée algébriquement Corps élastiques : conservation de la quantité de mouvement comptée algébriquement

Trois périodes se dégagent, chacune avec ses propres principes et méthodes : tout d'abord entre 1675 et 1688, ensuite de 1692 à 1699 en incluant les modifications des années 1698-1699, enfin les versions finales de 1700 et 1712. Il ne s'agit pas ici d'écrire une histoire de la théorie du choc dans l'œuvre de Malebranche en suivant l'évolution de sa pensée⁴ ; plus que les règles de collisions proprement dites, ce qui nous importe est la manière dont la résistance à une mise en mouvement intervient dans le choc. En effet, dans *De la recherche*, ces règles apparaissent après l'explication de la cohésion des corps et leur élaboration doit tirer les conséquences du rejet de la force de repos. Notre propos vise alors à examiner comment Malebranche bâtit ces règles à l'aune d'un tel rejet et vise à montrer que les collisions témoignent que l'absence de cette force implique celle d'une conceptualisation de l'inertie. Malebranche semble alors conduit à rechercher l'origine d'une résistance à une mise en mouvement selon différentes modalités.

Tout d'abord, comme remarqué dans le précédent chapitre, chez Pardies la notion d'indifférence équivaut à une absence de propriétés dynamiques. Malebranche fait sienne cette notion et écrit que « la matiere paroît [...] indifférente au mouvement & au repos, & absolument sans aucune force », cette argumentation devant disqualifier que les corps possèdent une force pour demeurer dans leur l'état, force égale pour le mouvement et le repos⁵. En ce sens, l'« indifférence » revient à la possibilité de prendre également ces deux états car « il est indifférent à tous les corps d'être mûs ou de ne l'être pas ; d'être mûs d'un côté, ou de l'être d'un autre »⁶.

Malgré tout, les règles du choc malebranchiste dans le vide ne donnent pas lieu à de simples compositions de vitesses, le savant, contrairement à Pardies, prenant en compte la

1 Toutes ces sources composent le volume OCM, XVII-1.

2 Le premier tome de la première édition de *De la recherche* paraît en 1674 et le second en 1675 ; c'est ce dernier, dans cette première édition, qui contient les règles du choc.

3 Malebranche introduit aussi dans cette première période le milieu comme élément perturbateur explicatif de la divergence entre la spéculation – les règles *aprioriques* des corps durs – et l'expérience ; les corrections demeurent qualitatives.

4 Pour des analyses complètes de ces règles du choc et leur histoire, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 111-192 et les annotations de Costabel insérées dans Malebranche, OCM, XVII-1, p. 199-236.

5 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 427-428.

6 Malebranche, RDV, VI, II, V, p. 349.

« grandeur » des corps. Comme nous le remarquerons ci-dessous, le principe de conservation de la quantité de mouvement paraît justifier chez Malebranche la perte de mouvement d'un mobile heurtant un corps au repos et il semble aussi que ce principe soit régit par cette maxime qu'il faut proportionner un effet à sa cause : une quantité de mouvement donnée à un corps est proportionnée à la perte de mouvement de l'agent. Par ailleurs, Pardies recourt au milieu extérieur pour justifier l'écart entre les règles du choc théoriques et expérimentales¹. Jusqu'en 1699, nous verrons que Malebranche s'appuie aussi sur l'air et la matière subtile qui se substituent alors à l'inertie. Mais, chez Malebranche, le milieu extérieur ne vient pas justifier qualitativement un écart entre des règles théoriques et expérimentales, à l'instar de Pardies : il entre de plain-pied dans l'élaboration quantitative des règles. A partir de 1700, nous constaterons que Malebranche n'évoque plus l'action du milieu. Le cadre théorique de sa physique demeure le même, qu'il s'agisse de l'énoncé des lois de la nature ou de l'explication de la dureté. Le philosophe ne semble alors pas autrement justifier la perte de mouvement lors d'un choc contre un corps immobile que par un principe de conservation de la quantité de mouvement. Finalement, à ces différentes époques, le cadre théorique qui fonde l'interaction entre corps ne relève pas d'une égalité entre l'action et la réaction, mais répond davantage aux schémas de l'*actio-passio* ; le corps donne un mouvement sans être affecté en retour par celui qui pâtit.

Dans ce qui suit, nous examinons les règles des corps durs puis les collisions élastiques.

LE CHOC DES « CORPS DURS PAR EUX-MEMES » ET PAR L'ACTION DE LA MATIERE SUBTILE

Le premier exposé (1675-1688) procède directement d'une révision des règles de Descartes consécutive à l'éviction de la force de repos². Par la suite (1700-1712), le statut de ce type de choc est réduit à celui d'un exercice utile pour « s'exercer l'esprit ». Par nature, le corps est « mou » et, dans le système, la matière subtile par sa pression lui confère une dureté. Du point de vue terminologique, entre 1675 et 1688, les corps « durs » sont ceux qui sont comprimés par la matière subtile dont l'action leur permet aussi de rebondir. Lors du choc de tels corps, les pores où circule ce fluide subissent une compression et la matière subtile ne peut pas s'ouvrir un autre passage dans le corps que celui offert par ses pores, « ceci à cause de la grosseur et de l'arrangement de leurs parties contraires à cet effet ». Pour « les corps mous », « la matière qui passe au travers [...] peut s'ouvrir des passages de tous côtés avec beaucoup de facilité, à cause de la petitesse des parties qui les composent, ou de quelque autre configuration particulière propre à cet effet »³. Ainsi, la matière qui compose les corps durs résiste à une destruction par le fluide et, dans le système, la dureté est synonyme de restitution de la figure d'origine et de rebond ; dans le vide, le corps dur ne rejailit pas, faute de matière subtile.

Le livre de 1692 revient sur cette terminologie et ces explications que reconduisent les éditions de 1700 et 1712. Si la matière subtile dans un corps heurté trouve peu de résistance de la part des parties de ce corps qui ne sont « point exactement unies les unes aux autres », car chacune d'elle est « entièrement ou presque entièrement séparée de sa voisine par la matière subtile qui l'entourne », alors le corps s'aplatit lors du choc. Si la matière subtile

1 Voir Partie I, Chapitre I.

2 Dans ces quatre éditions couvrant cette période 1675-1688, les règles figurent à la fin de RDV, VI, II, IX, là où Malebranche dénonce et rejette la force des corps au repos. Il introduit ces règles comme conséquence de cette réforme : « voici maintenant les règles de la communication des mouvements dans le vuide, lesquelles ne sont que des suites de ce que je viens d'établir de la nature du repos ». Malebranche, OCM XVII-1, 1675-1688, p. 39. Pour la période 1675-1688, toutes les citations tirées de *De la recherche* proviennent de l'édition de 1688 telle qu'elle est transcrite dans Malebranche, OCM XVII-1 ; les quatre éditions pour ces règles sont identiques.

3 Malebranche, OCM XVII-1, 1675-1688, p. 41.

trouve une résistance tout en pouvant changer « la teneur et l'arrangement des parties du corps » au point de les briser et de créer ainsi d'autres chemins dans lesquels elle puisse circuler comme avant le choc, « le corps [...] demeurera quelque peu aplati après le coup : et cela à proportion de la force du coup ». Si ce fluide ne dérange pas la structure interne du corps, elle abandonne ces pores puis « elle sera forcée de retourner toute entière dans les pores [...] pour remplir comme elle le faisait tout son mouvement avec plus de facilité. Et alors le corps [...] paroîtra tel qu'il étoit avant le choc ». Les premiers cas correspondent à un corps « mou », le dernier à un autre « à ressort » ; « on appelle [...] dur s'il ne peut pas s'aplatir »¹.

Finalement, que ce soit sur les périodes 1675-1688 et 1692-1712, est dur le corps qui ne se déforme pas (dans le vide) ou celui qui se déforme mais conserve sa figure d'origine (dans le plein). Dans les différentes publications concernant les corps de ce type apparaissent toujours la conservation de la quantité du mouvement comptée scalairement² et l'absence de résistance pour un corps au repos.

Les règles de 1675 à 1688

Malebranche étudie la collision dans le vide mais, suivant une telle hypothèse, « puisqu'ils [les corps] ne sont durs que par la pression de la matière subtile qui les environne si deux corps se rencontrent, ils s'aplatiroient sans rejaillir ». Aussi faut-il « les supposer durs par eux mêmes », comme le fit Descartes, et non par la pression du fluide, afin de rechercher à quelle « règle générale » soumettre les différents cas de chocs³.

Bien que non énoncée sous cette forme, cette « règle » comprend deux parties. Tout d'abord, « le repos n'ayant point de force pour résister au mouvement, et plusieurs corps ne devant être considérés que comme un seul dans le moment de leur rencontre », ils ne doivent rejaillir que « lorsqu'ils sont égaux en grandeur et en vitesse, ou que la vitesse récompense la grandeur ou la grandeur la vitesse ». Ensuite, « dans tous les autres cas ils doivent toujours communiquer leur mouvement, de telle manière qu'ils aillent après de compagnie avec une égale vitesse ». C'est, à proprement parler, ce second point que Malebranche conçoit comme la « règle générale de la communication des mouvements » : « pour sçavoir ce qui doit arriver dans toutes les différentes suppositions de la grandeur et de la vitesse des corps qui se rencontrent, il n'y a qu'à ajouter tous les degrés de mouvement de deux ou plusieurs corps qui ne doivent être considérés que comme un seul dans le moment de leur rencontre, et après diviser la somme de tout le mouvement à proportion de la grandeur de ces corps »⁴. Cette « règle » se substitue à la « troisième loi » des *Principes* de Descartes⁵. L'inégalité de force/mouvement détermine l'issue de la collision – « le plus fort vain[c] le plus faible, pour aller après de compagnie »⁶ –, et l'élaboration des règles du choc reposent sur : 1°/l'absence de force de repos ; 2°/sur la « règle générale » impliquant un mouvement « de compagnie » ; 3°/ sur la conservation de la quantité de mouvement comptée scalairement. La seule indétermination à propos du rapport de forces concerne donc des quantités de mouvement égales avec des grandeurs identiques ou inversement proportionnelles aux vitesses ; ces

1 Malebranche, OCM XVII-1, 1692-1712, p. 85.

2 Dans la cinquième édition de *De la recherche*, Malebranche donne un exposé des lois des corps durs en tenant compte à la fois des conservations algébrique et scalaire des quantités de mouvement.

3 Malebranche, OCM XVII-1, 1675-1688, p. 39. A l'issue de son chapitre sur la cause de dureté Malebranche réfutait l'existence de corps durs par eux-mêmes, rendant compte de la cohésion par la matière subtile. Costabel souligne « ce compromis bizarre qui doit supposer le contraire de ce qui vient d'être établi, pour établir la vérité d'une hypothèse condamnée », voir OCM XVII-1, *Introduction*, p. 10.

4 Malebranche, OCM XVII-1, 1675-1688, p. 39-40.

5 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 40, p. 86-87. Voir Partie I, Chapitre I.

6 Malebranche, OCM XVII-1, 1675-1688, p. 42.

configurations donnent lieu à un traitement à part et les corps rebondissent en conservant leurs mouvements initiaux.

La Règle 4 de Descartes se voit alors révisée¹. Avec les « grandeurs » $B = 1$ et $C = 2$ des corps et avec pour B « trois degrez de mouvement » et C immobile, la conservation du mouvement donne $3 = (1 + 2)V'$ soit $V' = 1$ pour vitesse finale commune ; le corps en repos n'ayant « point de force pour résister au mouvement » doit être entraîné par l'autre. Alors $BV' = 1$ et B « doit donner [à C] deux [degrés de mouvement] ». La disparition de la force de repos ne signifie pas que le mobile conserve l'intégralité de sa vitesse incidente².

Le deuxième volet de l'étude s'attache aux raisons du désaccord entre la théorie et l'expérience : « mais ces regles quoique certaines par les choses que j'ai dites sont contraires à l'expérience, parce que nous ne sommes pas dans le vuide » et il arrive alors que « les corps ne vont point de compagnie après leur rencontre » contrairement à ce que prévoit la « regle generale »³. Une telle divergence s'explique par le « ressort » issu de la circulation de la matière subtile dans les pores des corps : ces corps « chassent et détournent » le cours de cette matière des zones où le contact se produit, et « cette matiere resistant avec une grande violence repousse les deux corps qui se sont rencontrez de côté et d'autre, et rétablit son passage que la percussion lui bouchoit »⁴.

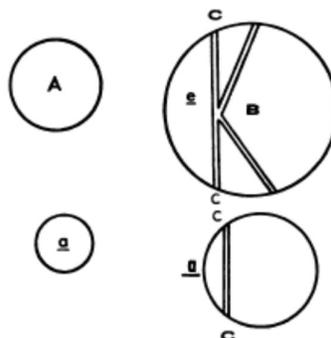


Fig. 3 : Malebranche, *De la recherche de la vérité* (1675), t. 2, p. 497

Lorsqu'un corps dur en percute un autre dans le plein, les chemins dans lesquels le fluide circule s'étrécissent au niveau du point de contact, et « la matière subtile qui s'y trouve enfermée continuant son chemin en ligne droite faute de chemins nouveaux, elle repousse le corps qui le choque avec d'autant plus de violence qu'elle trouve plus de difficulté à se faire un chemin »⁵. La persistance du mouvement rectiligne de cette matière explique le rejaillissement et, à cet égard, le schéma donné par Malebranche est éloquent. Deux droites verticales (Fig. 3) sur un cercle représentant une boule dure (le corps a) définissent un canal qui symbolise le chemin du fluide subtil. Pour le corps mou (B) figurent à la place de ce canal deux canaux brisés, car lors du choc « la matière subtile se fait des chemins nouveaux dans ce corps mou » et « la matière subtile ayant un chemin libre, elle ne repousse point le corps choquant, mais le corps choqué change de figure, et s'applatit un peu ». Le rebond implique que le fluide puisse conserver sa droite de circulation originelle⁶. Ainsi, la loi de conservation

1 Selon Malebranche, seules les quatrième, cinquième, sixième et septième règles de Descartes sont fausses. Pour une comparaison des résultats des Descartes et Malebranche, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 116-122.
2 Nous verrons dans ce chapitre et dans le suivant sans cette force, selon Leibniz, les corps ne perdent pas de mouvement lors du choc.
3 Malebranche, OCM XVII-1, 1675-1688, p. 40.
4 *Ibid.*, 1675-1688, p. 41. Malebranche livre une justification expérimentale des règles établies rationnellement : les corps « gardent avec d'autant plus d'exactitude [les règles] qu'[ils] font moins de ressort » cas, par exemple, des boules de plomb. De tels corps « ne rejaillissent point après le choc, mais [...] vont à peu-près selon les regles que j'ai établies auparavant » et des mobiles rejaillissent parce qu'ils sont durs par l'action de la matière subtile.
5 *Ibid.*, 1675-1688, p. 42.
6 Pour les analyses de l'élasticité chez Descartes et Cordemoy avec ce principe de conservation, voir plus haut.

du mouvement rectiligne (uniforme) rend compte d'un effort comme cela apparaît aussi lors de la collision : « il paroît évident que tout corps mû faisant toujours effort pour aller en ligne droite, et ne s'en détournant que le moins qu'il peut lorsqu'il trouve résistance, il ne doit jamais rejaillir, puisqu'en rejaillissant, il se détourne beaucoup de la ligne droite. Il faut donc, ou bien que les corps s'applatissent, ou que le plus fort vainque le plus foible, pour aller après de compagnie : mais parce que les corps font ressort et qu'ils sont durs, ils ne peuvent aller de compagnie, puisque si A pousse a , a repousse A : et ainsi ils doivent s'éloigner l'un de l'autre »¹.

Le rebond s'explique alors par le milieu :

si les deux corps étoient dans le vuide, quoiqu'ils fussent tres durs n'y ayant point de corps qui les environnât, ils ne pourroient jamais faire de ressort, le choqué ne résistant point du tout au choquant : mais l'air, la pesanteur, etc. résistant au grand mouvement que le choquant donne au choqué, le choqué résiste au choquant et l'empêche de le suivre : car l'expérience apprend que l'air et la pesanteur résistent au mouvement, et cela d'autant plus que le mouvement est violent².

La résistance du corps percuté, opposition nécessaire à sa compression, provient de l'air et de la matière subtile, cette dernière étant liée à la pesanteur³ : la circulation du fluide et cette résistance rendent pensables un rebond. Un corps immobile subit la pression de celui qui le heurte et l'opposition du milieu mais, dans le vuide, « n'y ayant point de corps [le milieu ambiant] qui les environnât » et « le choqué [au repos] ne résistant point du tout au choquant » le rebond n'existe pas. La résistance et la compression ne reposent donc pas uniquement sur la prise en compte d'un seul corps mais doivent s'appuyer sur le système dans son ensemble, d'une part parce que le fluide subtil est la cause de l'élasticité et, d'autre part, parce que comprimer un corps requiert la résistance du milieu : la conséquence de l'absence de force de repos, donc de résistance, implique de penser la compression en recourant à « l'air subtil et grossier » (la matière subtile et l'air proprement dit). Ainsi, dans le choc de corps « environnez d'air ou d'eau, etc », le mobile incident peut rejaillir, communiquer de sa vitesse, ou suivre le corps percuté mais avec moins de vitesse : tout cela dépend de la grandeur, de la dureté et de la pesanteur des corps dont il faut tenir compte « pour prévoir à-peu-près ce qui doit arriver dans la percussion ». En effet, une plus grande dureté renvoie à davantage de « ressort », et donc de rebond, ce qui implique « l'air subtil ». Puis, la mise en mouvement d'un corps de grand volume implique davantage de résistance puisqu'elle nécessite un plus grand déplacement d'air. Enfin, même si Malebranche n'en donne pas les raisons, la pesanteur entre aussi en ligne de compte puisqu'elle a partie liée avec la matière subtile : un corps plus pesant qu'un autre est celui dont les pores sont plus petits à tel point que même la matière subtile offre une résistance⁴. Ainsi, « il n'y a [...] qu'à comparer la dureté des corps qui se choquent, et l'air que le choqué doit agiter de nouveau dans le temps de la percussion afin qu'il se meuve »⁵. Ce type d'explication, faisant l'impasse sur une inertie de la matière, intervient jusqu'en 1699 et le changement de mouvement d'un mobile heurtant un corps au repos ne fait pas l'objet d'une attention particulière : penser la

1 Malebranche, OCM, XVII-1, 1675-1688, p. 42. Cette minimisation du changement comme éventuel principe fondant les changements des mouvements n'apparaît pas dans les éditions de 1700 et de 1712.

2 *Ibid.*, 1675-1688, p. 42.

3 Nous revenons dans les lignes et les paragraphes suivant sur ce lien entre la pesanteur, la matière subtile et la résistance de cette dernière. Voir aussi Partie I, Chapitre III.

4 Cette résistance due à la pesanteur ne doit pas s'entendre comme celle de la quantité de matière du corps, autrement dit la masse, à laquelle la pesanteur est proportionnelle. De 1692 à 1699, lorsque Malebranche évoque la résistance due à la pesanteur, il prend en compte l'action de la matière subtile qui cause cette pesanteur, voir ci-dessous dans ce chapitre.

5 *Ibid.*, 1675-1688, p. 43. Il nous semble que l'« air » qui résiste renvoie pour Malebranche à l'air « subtil » et « grossier », autrement dit à la matière subtile et à l'air proprement dit ; nous aurons l'occasion de le souligner dans la suite de ce chapitre.

« résistance » c'est avant tout donner les conditions établissant la compressibilité d'un corps immobile, à savoir la prise en étau du corps entre un mobile et le milieu¹.

Ainsi, dans les premières publications de ces règles, l'héritage de Descartes reste patent, notamment à travers l'énoncé de cette « règle générale », de la loi de conservation de la quantité de mouvement, et par cette conception d'un effort compris à travers une loi de persistance. Cette dernière ne concerne cependant plus le repos. L'absence de force de repos ne renvoie pas seulement à celle d'une résistance absolue, mais aussi à l'absence d'une résistance de la matière : l'opposition à une mise en mouvement se conçoit dans le système à l'aide du milieu (air, matière subtile), autrement dit à l'aide d'entités extrinsèques aux corps.

Les règles de 1692 à 1712

Malebranche écrit *Des lois de la communication des mouvemens* en 1692 afin « qu'on substitue » ce traité à la place de la partie de RDV, VI, II, IX exposant les règles entre 1675 et 1688². Il évoque la critique de Leibniz, au moment de la controverse de 1687 portant sur l'estimation de la force des corps en mouvement et sur la validité du principe de Descartes de conservation de la quantité du mouvement, comme facteur déterminant un nouvel examen des règles : il juge « tres-fausse » la « règle générale » du choc énoncée dans les premières éditions de 1675 à 1688 et affirme que « si je n'eusse-lû par hasard dans les *Nouvelles de la République des lettres* quelques objections de Monsieur de Leibnitz, je n'y aurois peut-être pensé de ma vie »³.

L'ouvrage de 1692 comprend alors trois parties. La première reprend ce que Malebranche écrit avoir fait dans « l'empressement » il y a près de vingt ans et le philosophe y expose des « premières lois », à savoir de nouvelles règles du choc pour « les corps [qui] sont dans le vuide et durs par eux mêmes ». La deuxième partie traite des « corps tels qu'ils sont, mais sans rapport à la résistance de l'air » à savoir à la fois l'air « grossier » et l'air « subtil ». Autrement dit, les corps sont durs dans le sens exposé précédemment, ils sont compressibles mais retrouvent après le choc leur figure d'origine. Enfin la troisième « regarde les choses comme elles sont sans faire aucune supposition arbitraire »⁴. Robinet remarque que dans ce livre « l'admission relative des résultats de l'expérimentation est entièrement annihilée par les réserves qui sont faites, au profit de la spéculation, et par le report de l'attention de Malebranche au modèle des premières lois »⁵. Dans ce livre, Malebranche applique systématiquement le principe cartésien de conservation de la quantité de mouvement et la force de repos n'intervient plus. Par ailleurs, la première partie relative aux corps durs sert de base à l'analyse des collisions des deux autres parties qui concernent les corps dits « à ressorts ». A cette date, et ce jusqu'en 1699, Malebranche ne tient pas encore compte des résultats expérimentaux sur les règles du choc, en particulier ceux de Edme Mariotte⁶. A partir

1 *Ibid.*, 1675-1688, p. 43.

2 Malebranche, OCM XVII-1, 1692, p. 50.

3 Malebranche, OCM XVII-1, 1692, p. 50. Leibniz rejette en particulier la « règle générale » de Malebranche de la période 1675-1688 en dénonçant l'incompatibilité de ses deux volets à l'aide d'un raisonnement par continuité : en faisant varier très peu les vitesses ou grandeurs des corps d'une règle à l'autre les effets s'avèrent extrêmement différents. Pour les controverses publiées dans les livraisons de 1686-1687 des *Nouvelles de la République des Lettres* qui impliquent Leibniz, l'abbé de Catelan et Malebranche et qui font suites à la *Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii* de Leibniz, voir Robinet, *Malebranche et Leibniz*, p. 243-265 ; Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 129-137 ; Costabel, *La dynamique de Leibniz, les textes de 1692*, Paris, Hermann, 1960, p. 32-38.

4 Malebranche, OCM XVII-1, 1699, p. 50-52.

5 Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 138. Pour un examen des règles du choc dans le traité de 1692, *ibid.*, p. 129-161.

6 *Ibid.*, p. 138. « Malebranche n'ignore plus ni les critiques de Leibniz, ni les résultats de Mariotte : ce traité de 1692 est une ultime tentative pour en retarder la reconnaissance et prolonger le règne de la spéculation pure à la cartésienne. Car ni le 'principe' de Leibniz n'y est admis, alors qu'il le sera en 1700, ni les expériences de Mariotte ne sont estimées recevables, alors qu'elles le seront en 1700 ». Par « principe de Leibniz », il faut entendre ici la conservation algébrique

de la cinquième édition de *De la recherche*, seules deux types d'études subsisteront : les collisions de corps infiniment durs dont l'énoncé des règles se veut un simple exercice de géomètre et les chocs élastiques, soit les collisions en tenant compte de l'effet de la matière subtile ; Malebranche s'appuie alors sur les résultats expérimentaux de Mariotte et adopte la conservation algébrique de la quantité de mouvement¹. De 1692 à 1712, Malebranche donne des règles pour les corps durs à peu de choses près identiques sous l'hypothèse du principe de Descartes de la conservation absolue du mouvement et le lecteur est alors convié « à faire œuvre de géomètre c'est-à-dire à bien raisonner sur des hypothèses indépendantes des expériences »². Puis, en 1700 et 1712, s'ajoutent à ce premier exposé des règles pour les corps durs basées sur la conservation algébrique.

Collisions avec conservation de la quantité de mouvement scalaire

Pour la période allant de 1692 à 1712, Malebranche énonce des définitions et des concepts identiques. Il suppose les corps « parfaitement durs, et par conséquent sans aucun ressort, et mûs dans le vuide ; c'est-à-dire, sans que l'air grossier ou subtil résiste ou contribuë au mouvement »³. Le livre s'ouvre par une série d'articles exposant le cadre théorique général dans lequel l'étude se place, notamment le système des causes occasionnelles et la thèse sur l'absence de force des corps repos ; pour ce point, Malebranche renvoie le lecteur à « *Rech. de la Vérité*, l. 6. ch. dernier »⁴, autrement dit à l'étude de la cohésion des corps. Malebranche écrit que « la quantité absoluë de mouvement » se conserve et que les corps sont « impénétrables ». Puis, il expose en deux temps, comme dans l'*Eclaircissement XV*, que suivant la simplicité des voies de Dieu le mouvement suit une ligne droite et, ensuite, que Dieu se sert du choc « qui l'oblige à varier son action, à cause que les corps sont impénétrables, comme d'une occasion pour établir la seconde loi naturelle, qui règle la communication des mouvemens », ce choc étant alors « cause naturelle ou occasionnelle de la communication actuelle des mouvemens » ou encore « la cause naturelle ou occasionnelle de la distribution » du mouvement⁵. La quantité de mouvement se définit comme « le produit de la vitesse d'un corps par sa masse » et « exprime aussi la quantité de la force mouvante actuellement appliquée à produire le mouvement [puisque] les effets sont en proportion avec les forces qui les produisent » ; elle renvoie ainsi à la « force mouvante » qui exprime l'efficace divine. Enfin, « le repos n'a point de force pour resister au mouvement »⁶.

La suite aborde les règles du choc, et puisqu'un corps en meut un autre « à proportion de la grandeur du choc », Malebranche quantifie la « quantité du choc » (Q) pour déterminer l'issue de collisions. Le tableau ci-dessous résume les différentes expressions de Q en fonction des

de la quantité de mouvement. Les résultats de Mariotte sur le choc sont consignés dans Mariotte, *Traité de la percussion ou chocq des corps*, Paris, Estienne Michallet, 1673

- 1 Malebranche écrit que « Dieu conserve toujours dans l'univers une égale quantité de mouvement » et ajoute qu' « il est impossible de démontrer en rigueur, ce qui dépend d'une volonté arbitraire du Createur, et il est clair que si Dieu le vouloit, les mouvemens ne se communiqueroient point, et que les opposez se détruiraient l'un et l'autre. Mais comme l'expérience y est ce me semble contraire, puisque la matiere conserve depuis longtemps son mouvement ; je crois devoir simplement supposer ce qui ne se peut pas démontrer dans la rigueur et l'exactitude geometrique ». Malebranche, OCM XVII-1, 1692-1699, p. 56. L'expérience indique une continuation du mouvement et vient alors fonder un principe impossible à « démontrer » ; à cette date elle ne sert pas à établir un autre principe de conservation et à révoquer celui de Descartes. La Source B2 précise que ce principe « est assez conforme à la raison » mais, dès la Source B1, Malebranche affirme que « Dieu ne conserve pas toujours absolument. une égale quantité de movemt., mais [...] il en conserve toujours une egale quantité de même part », propos repris en 1700 et 1712. *Ibid.*, p. 57.
- 2 *Notes de l'éditeur*, OCM XVII-1, note 14, p. 202. Les règles étant quasiment identiques en 1692, 1700 et 1712, toutes les citations proviendront de l'édition de 1712 sauf mention contraire.
- 3 Malebranche, OCM XVII-1, 1692-1712, p. 59.
- 4 *Ibid.*
- 5 *Ibid.* et *Eclaircissement XV*, p. 217 cité plus haut dans la section Lois de la nature et « Force mouvante »
- 6 Malebranche, OCM XVII-1, 1692-1712, p. 59.

masses (m, m_1, m_2), des vitesses (v_1, v_2) et des sens des mouvements des mobiles qui se percutent :

	Mouvements incidents de sens contraires	Mouvements incidents de même sens
Corps de même masse m	$Q = m(v_1 + v_2)$	$Q = m(v_1 - v_2)$
Corps inégaux, le « plus fort » étant le plus « grand » ; m correspond à la masse du plus « petit »	$Q = m(v_1 + v_2)$	$Q = m(v_1 - v_2)$
Corps inégaux, le « plus fort » étant le plus « petit » ; m_1 correspond à la masse du plus petit corps	$Q = m_1 v_1 + m_2 v_2$	$Q = m_1(v_1 - v_2)$

Q a pour fonction de prendre en compte les « forces » en présences – les quantités de mouvement incidentes – dans l'évaluation de la percussion d'où procède la redistribution des mouvements. Cette grandeur a notamment à voir avec le caractère mutuel du choc énoncé par Pardies est associée à l'impénétrabilité des corps et à leur vitesse relative¹. Plus généralement, son introduction s'inscrit dans des réflexions de la seconde moitié du XVII^e siècle : la prise en compte des « forces » en présence et d'une grandeur proche de celle introduite par Malebranche pour le règlement des chocs se rencontrent notamment chez John Wallis qui introduit l'« ictus magnitudo », ainsi que chez Claude François Milliet Dechaies et Mariotte² ; elle inscrit la rédaction du philosophe dans un contexte de naissance d'une conceptualisation de l'action dynamique³.

Malebranche considère que « les corps ne se poussent que parce qu'ils sont impénétrables » et, par conséquent, il ne prend en compte que la surface d'impact commune entre eux. Il en résulte que sa « grandeur du choc » ne tient compte que des dimensions du plus petit corps et de la vitesse relative, les corps « n'agiss[ant] que selon la vitesse avec laquelle ils se rencontrent dans l'instant du choc ». Cumulant ces deux points, il énonce que « lorsque le [corps] plus fort est le plus grand, il n'agit pas selon toute sa force [autrement dit, son mouvement] sur le plus petit qui vient à sa rencontre, mais selon la vitesse respective ou la somme des vitesses multipliée seulement par la masse du petit, qu'il chasse devant lui, parce qu'il a plus de force »⁴. Malebranche identifie la « quantité du choc » à l'action du « plus fort ». Il dissocie alors nettement la « force mouvante », simple quantité de mouvement, de l'action : dans les formules de Q dans le tableau ci-dessus, « le plus grand » et « plus fort » « n'agit pas selon toute sa force », c'est-à-dire son mouvement. Le mouvement effectif renferme ainsi une potentialité d'action et le corps, selon les différentes circonstances des collisions, cède une partie ou la totalité de ce qu'il possède.

1 Les *Notes de l'éditeur*, OCM XVII-1, note 22 p. 204-205 évoquent une « influence de Pardies » manifeste. Sur ce caractère mutuel de la percussion chez Pardies, voir Partie I, Chapitre I.

2 John Wallis, *Mechanicorum, sive Tractatus de Motu*, Pars tertia, 1671, *Opera Mathematica*, vol.1, Oxford, 1695, rééd. Georg Olms Verlag, Hildesheim/New York, 1972, p. 1006 : « Ictus magnitudo æquipollet duplo momenti ablati in directe impingentium (si quod fit) fortiori » (« la force du choc vaut le double de ce que perd le plus fort moment lors du choc direct »), voir p. 1006-1012 pour cette grandeur dans les chocs des corps durs. La « force du choc » chez Mariotte et la « force de la percussion » chez Dechaies se mesurent par la somme des quantités de mouvement des corps incidents en supposant ces quantités comptées dans le référentiel du centre de masse du système (là où les quantités de mouvement incidentes sont égales) : les chocs peuvent être réduits à cette configuration dite d'équilibre (des mobiles de même quantité de mouvement) par simple changement de référentiel. Pour cette pratique voir Schmit, « Rapports entre équilibre et dynamique au tournant des 17^e et 18^e siècles », *Early Science and Medicine*, vol. 19, Issue 4, 2014, p. 505-548. Malebranche possède un exemplaire des *Opera Mathematica* de Wallis, du *Traité de la percussion* de Mariotte, et de Claude François Milliet Dechaies, *Cursus seu Mundus mathematicus*, Jean Posuel et Claude Rigaud, Lyon, 1690 (1^{re} éd. 1674). Voir Malebranche, OCM XX, « Index reconstitué par noms d'auteurs », p. 253-283.

3 Sur le rapport entre ce type de grandeur, la science statique et la formulation du concept de force, notamment chez Wallis, Mariotte, Pardies et Dechaies, voir Westfall, *Force in Newton's Physics*, p. 194-282 ; Schmit, « Rapports entre équilibre et dynamique ».

4 Malebranche, OCM XVII-1, 1692-1712, p. 61.

La « quantité du choc doit régler la quantité du mouvement que doit avoir le plus foible après le choc » : pour une collision de mouvements en sens contraires, après le choc ce plus « foible » possède cette « quantité du choc » ; sinon, si le « plus fort » rattrape l'autre, cette quantité s'ajoute au mouvement que ce corps possédait. Le raisonnement témoigne alors d'une absence de réciprocité dans la pensée de l'action, la « grandeur du choc » n'affectant que « le plus foible ». Que « le plus fort » s'impose ne signifie pas qu'il conserve son mouvement : « le mouvement ne se perd point », la quantité scalaire globale demeure donc constante, mais la perte de ce corps ne s'analyse pas dans le cadre d'une opposition dynamique qu'impliquerait la loi d'égalité action-réaction ; elle ne provient pas de la résistance qu'offre l'autre corps à un changement d'état mais résulte d'une loi de conservation du mouvement. Dans une collision impliquant des mouvements contraires, la force du plus « foible » « doit retomber sur lui-même avec ce que lui donne le plus fort », ce qui revient finalement à « considérer le plus foible comme au repos » lors de l'impact. Le maintien dans cet état de repos ne nécessitant pas de force, un corps immobile ne saurait réagir et, au final, il acquiert un mouvement égalant la « quantité du choc ». Cette dernière analyse s'avère nécessaire à cause de la nature physique du corps : un mobile dur (indéformable) ne peut pas « en même temps recevoir deux forces ou deux mouvements » (le sien et celui du plus « foible ») et alors « le plus fort ne peut jamais rien recevoir du plus foible » ; pour un corps dur, contrairement à un « corps à ressort », « toutes les parties avancent ou reculent également » (*ibid.*, p. 61). Ainsi « recevoir » un mouvement revient à énoncer la possibilité d'une coexistence de deux mouvements effectifs opposés au sein d'un même corps : agir et réagir impliquent l'existence d'un mouvement actuel. L'impossibilité de penser une réaction pour des solides indéformables rend manifeste l'absence d'une conceptualisation en terme de changements d'états affectant également les deux corps ; seul le corps élastique rend possible la coexistence d'un mouvement à rebours et du mouvement incident et lui seul rend intelligible une réaction (*ibid.*, p. 63).

Les exemples de collisions du tableau ci-dessous montrent que la « quantité du choc » égale la quantité du mouvement acquise par un corps initialement au repos ; que le traitement de mouvements en sens contraires repose sur la considération du plus « foible » au repos ; que pour des mouvements de même sens, le corps rattrapé ne résiste pas à l'autre mobile.

<p>Avec un corps au repos :</p> <p>Un corps de masse $2m$, de vitesse 1, en percute un autre de masse m au repos¹. Le plus « foible » est le plus petit. Le calcul de Q donne $Q = m(1 - 0) = m1$. Ceci correspond à l'état final du corps initialement au repos, l'autre possédant $2m \frac{1}{2}$ puisque la quantité scalaire de mouvement se conserve. Ainsi, « la force du choquant agit immédiatement et en un instant sur le choqué, et par conséquent il le pousse selon toute sa vitesse »². Le mobile cède $m1$ qui correspond à la « quantité du choc », donc à l'action sur le corps au repos, « quantité du choc » qui égale la variation de la quantité de mouvement du corps percuté</p>
<p>Pour des mouvements incidents en sens contraires :</p> <p>Avec $2m2$ et $m1$, $Q = m(2 + 1) = m3$: le plus petit mobile repart avec cette quantité de mouvement. Dans un premier temps, « il faut considérer le [corps le] plus foible comme au repos »³ ; la quantité du choc, donc la quantité de mouvement du plus « foible » selon cette dernière hypothèse, serait alors $m2$. Puis, le plus fort ne pouvant « jamais rien recevoir du plus foible », « la force du plus foible, doit retomber sur lui-même »⁴, et $m1$ s'ajoute à $m2$, l'artifice permettant de résoudre la contrainte d'impossibilité de mouvements contraires pour un même corps dur. L'action comprend donc cette « force du plus foible » $m1$ et la poussée de $m2$. Cette quantité $m1$, plus qu'une action générée par un mouvement, provient de l'incapacité du plus « foible » d'agir contre l'autre, tandis que « le plus fort » développe son action et transfère $m2$. La « quantité du choc » sera donc $m2$, qui correspond au changement d'état du corps le plus faible ($m3 - m1$).</p>
<p>Deux corps allant dans le même sens :</p>

1 Ces notations sont de Malebranche : $2m1$ signifie que le corps de masse $2m$ possède une vitesse 1.

2 *Ibid.*, 1692-1712, p. 67.

3 *Ibid.*, 1692-1712, p. 61.

4 *Ibid.*

m_2 et $2m$ donnent $Q = m(2 - 1) = m_1$, soit $2m + m_1 = 2m + 2m\frac{1}{2} = 2m\frac{3}{2}$ pour le mouvement final du corps rattrapé et m_1 restant pour l'autre. Q mesure le changement de mouvement du corps atteint et, ici, « il est évident qu'un corps qui est mû dans le même sens qu'un autre, n'a point de force contraire pour lui résister, et qu'il n'est choqué par celui qui l'attrape que selon la différence de vitesse »¹.

Ces exemples reposent sur la conservation du mouvement scalaire, l'impénétrabilité des corps, ils concernent des corps parfaitement durs qui impliquent une transmission instantanée du mouvement et l'impossibilité de « deux mouvements contraires »². La « quantité du choc », qui survient à l'occasion de l'impact, a plus à voir avec les vitesses effectives incidentes qu'avec les vitesses finale et initiale pour un corps donné : elle ne s'apparente pas à la quantification d'une impulsion et si le choc provoque un changement de mouvement, Malebranche ne définit pas l'action par ce dernier. Cette action n'apparaît pas comme le facteur décisif du règlement du concours déterminé *a priori* dans ses grandes lignes : le « plus fort » impose son effet sans subir d'action en retour, « il chasse devant lui » l'autre corps, et la « quantité du choc » permet de déterminer les vitesses finales. Différentes phrases associent alors cette « grandeur » et l'acquisition d'une vitesse : « afin qu'un corps en remuë un autre, il faut qu'il le pousse ou le choque ; et s'il le meut, ce doit être à proportion de la grandeur du choc » ; « puisque les corps sont mûs à proportion de ce qu'ils sont poussez, il est clair que la quantité du choc doit régler la quantité du mouvement que doit avoir le plus foible après le choc » (*ibid.*, p. 59-61).

Lors d'une collision d'un mobile contre un solide inébranlable, « le choquant et le choqué sont également poussez, parce qu'ils sont également impénétrables, et que le choqué est supposé inébranlable ». Ces conditions physiques – impénétrabilité et un corps inébranlable –, ainsi que la conservation de la quantité de mouvement, rendent possibles le rebond et fondent l'égalité de « poussées » réciproques : le corps immobile peut donc agir dans cette circonstance. *A contrario*, un mobile percutant un corps de même grandeur au repos, mais non fixé au sol, perd tout son mouvement et ceci ne fait pas appel à une « poussée » du corps au repos : « si deux boules égales A et B sont parfaitement dures, et que A choque B qui est en repos, A perdra tout son mouvement et B le prendra. Cela doit être ainsi ; car quoy que B soit impenetrable, il n'a point de force qui le rende inébranlable. Il est poussé sans repousser, puisque le repos n'a point de force pour resister au mouvement. A n'étant donc point repoussé, il ne doit point rejaillir, et comme il pousse B de toute sa force, B doit prendre tout son mouvement » (*ibid.*, p. 63).

« Repousser » est ici associé à « rejaillir » : le mouvement actuel témoigne donc de l'existence d'une réaction (tout comme de la possibilité d'une action) et, comme précédemment souligné, le changement de mouvement du mobile incident (identique à celui du corps heurté) ne relève pas d'une réaction opposée à son action. Finalement, comme l'écrit Malebranche, « la force des corps, ou l'effet de leur choc ne peut être que du mouvement, ou du transport actuel » (*ibid.*, p. 87). Ainsi, le fait que le « repos n'a pas de force pour résister » touche la conceptualisation de la réaction de la matière (un corps est « poussé sans repousser ») : la perte de mouvement du mobile ne résulte pas de l'action d'une masse mais de la dépense de la « force » potentielle du corps percutant. Cette perte s'explique par les paramètres de cette configuration de choc (les masses identiques), par le fait que le « plus foible » reçoit pour mouvement la « grandeur du choc », soit ici le mouvement incident du mobile, et par un principe de conservation de la quantité du mouvement. Ainsi, la maxime stipulant que « lors que les corps sont mûs, ils le sont à proportion qu'ils ont été poussez » ne renferme pas l'idée d'une « poussée » réciproque susceptible d'expliquer une mise en repos (ou la perte d'une partie du mouvement) du corps qui « pousse ». Seul un obstacle

1 *Ibid.*, 1692-1712, p. 69.

2 *Ibid.*, 1692-1712, p. 61.

inébranlable assure qu'il « sera autant repoussé qu'il aura poussé » et, suivant le principe du mouvement proportionné à la poussée, le mobile rejaillit en conservant sa vitesse incidente. Cette égalité ne survient donc qu'avec une condition physique particulière ou bien pour des corps animés de mouvements de sens opposés de même quantité. La loi d'égalité d'action-réaction ne se voit donc pas conceptualisée pour des raisons liées à la nature physique des corps associées à l'idée d'action représentable par des mouvements actuels au sein d'un corps, et en raison de l'absence de force de repos (« le repos n'a point de force pour résister au mouvement, et [...] n'en est qu'une pure privation »¹) ; c'est davantage sur le modèle de l'*actio-passio* scolastique que se voit pensée l'interaction physique.

Il n'existe donc pas de juste milieu entre le caractère inamovible (la règle 4 de Descartes) et une passivité totale qui donnerait cependant lieu à une conceptualisation de la force d'inertie. De telles conclusions valent pour des mouvements de même sens car « il est évident qu'un corps qui est mû dans le même sens qu'un autre, n'a point de force contraire pour lui résister, et qu'il n'est choqué par celui qui l'attrape que selon la différence des vitesses »². Seuls l'obstacle inamovible et des mouvements de sens contraires permettent de comprendre la résistance et l'action dont l'effet consiste en un mouvement effectif.

Collisions des corps durs avec conservation de la quantité de mouvement algébrique

En 1699, Malebranche rejette le principe de conservation cartésien pour lui substituer, en évoquant l'enseignement de l'expérience, la conservation du « mouvement de même part » : « le centre de pesanteur de deux ou plusieurs corps qui se choquent de quelque manière que ce puisse être, se meût toujours de la même vitesse avant et après le choc. De sorte qu'il est vrai que Dieu conserve toujours une égale quantité de mouvement de même part, ou un égal transport de matière »³. En supposant donc que « la quantité absolue de mouvement change sans cesse » et, ainsi, que « les mouvements contraires se détruisent », de quelle manière les règles du choc énoncées ci-dessus changent-elles ? Malebranche écrit qu'« il est clair que la supposition que les mouvements contraires se détruisent, ne change rien dans les lois que je viens d'établir, lorsque les corps sont mûs en même sens, ou lorsque le choqué est en repos, puisqu'en ces deux cas il n'y a point de forces ou de mouvements contraires ; et qu'ainsi la quantité absolue de mouvement doit alors demeurer la même »⁴. Pour la collision impliquant des mouvements contraires, dans un premier temps Malebranche soustrait à la force du « plus fort » celle du « plus foible », ce qui revient à considérer celui-ci

1 *Ibid.*, 1700-1712, p. 75.

2 *Ibid.*, 1692-1712, p. 69.

3 *Ibid.*, 1700-1712, p. 71-73 : « M. Descartes a crû que Dieu conservoit toujours dans l'Univers une égale quantité de mouvement. Il appuyoit son opinion sur ce principe incontestable, que l'action du Createur devoit porter le caractere de son immutabilité ; et qu'ainsi sa volonté étant la force mouvante des corps créés ou conservés en mouvement ; il falloit que cette force demeurât toujours la même. Ce principe, que la conduite de Dieu doit porter le caractere de ses attributs, ne se peut contester ; parce qu'il est évident que la volonté de Dieu n'est que l'amour qu'il se porte à lui-même et à ses divines perfections, et qu'ainsi puisqu'il n'agit que par sa volonté, il n'est pas possible qu'il démente par son action les attributs dans lesquels il se complait nécessairement, ou dans lesquels il trouve sa loi, la règle inviolable de sa conduite [...] Cependant l'expérience nous a convaincu que M. Descartes s'est trompé : non que le principe Metaphysique de son opinion soit faux ; mais parce que la conclusion qu'il en tire n'est pas véritable ». Malebranche estime que cette nouvelle loi porte « beaucoup plus le caractère des attributs divins » que la première et ce « nonobstant la variété infinie des mouvements des corps particuliers ». En effet, « le mouvement de tous les corps en general est toujours le même ; tout demeure, pour ainsi dire, dans un parfait et immuable équilibre » ; Dieu agit sans cesse avec « uniformité » et « simplicité » en observant cette loi dans « les chocs infinis des corps » et il y a « dans toutes les parties de l'Univers prises ensemble le même mouvement ou la même force » malgré tous les changements des mouvements des corps. *Ibid.*, p. 75. C'est à partir de la Source B1 que Malebranche évoque cette conservation du « mouvement de même part », *ibid.*, p. 56. En 1692, la conservation du mouvement « de même part » n'apparaît qu'à l'issue de l'étude des chocs élastiques pour les mouvements de sens contraire ; elle n'a donc pas le statut d'une loi générale mais dépend seulement de la nature des corps et des circonstances de collisions (sens contraires). Sur l'usage répandu d'un tel principe de conservation vers la fin du XVII^e siècle, voir OCM XVII-1, *Notes de l'éditeur*, note 16, p. 202-203.

4 Malebranche, OCM XVII-1, 1700-1712, p. 75-77. Voir aussi Source B2, p. 76.

au repos – les mouvements contraires se détruisent – et, à l’instar des règles précédentes, il fait agir le plus « fort » sur le plus « foible » sans que la perte du mouvement du premier témoigne d’une résistance de l’autre¹. En somme, l’opposition de sens des mouvements incidents rend compte d’une possibilité de résistance : le repos et les mouvements de même sens n’impliquent pas d’opposition et les règles établies suivant le principe de Descartes demeurent valables. Ainsi, de la même manière que précédemment, le plus « fort » agit sur le plus « foible » sans que la perte du mouvement du premier témoigne d’une action de la part de l’autre.

COLLISIONS ELASTIQUES

Mécanisme de compression mutuelle

Les textes de 1692, 1700 et 1712 donnent une même description du processus de compression des corps « à ressort »². Après les corps durs « par eux-mêmes », Malebranche traite des corps durs « à ressort », ceux dont la matière subtile assure cohésion et élasticité. La durée de l’action permet de distinguer ces deux types de corps : « l’action des corps qu’on suppose infiniment durs, se communique de l’un à l’autre immédiatement, et en un instant ; et [...] celle des corps durs à ressort, tels que sont les corps durs ordinaires, ne se communiquent de l’un à l’autre successivement, à cause de la matière subtile qui en pénètre les pores, et qui reçoit et redonne l’impression des corps qui se choquent »³.

Les corps durs « à ressort » « se redressent, lorsqu’on les a courbez, ils résistent à l’effort qu’on fait pour les rompre : ils ont donc quelque force », car « il faut certainement de la force pour agir ou pour résister à quelque action ». Pour autant, « si l’on ne veut raisonner des corps et de leurs propriétés que sur les idées claires que l’on en peut avoir, on n’attribuera jamais à la matière d’autre force ou d’autre action que celle qu’elle tire de son mouvement »⁴. Cette force pour agir ou résister ne provient pas du repos des parties du corps ni d’une matière immobile les environnant et pénétrant : par nature passive, la matière, au repos, ne peut conduire d’elle-même à un mouvement et, une fois ployé un corps demeure dans cet état. Une fois le corps comprimé ses parties restent en repos mutuel et n’agissent donc pas ; la « force du ressort » vient alors du mouvement de « la matière subtile ou invisible qui les [corps] environne, et qui en pénètre les pores »⁵.

Grâce à la matière subtile « le mouvement qu’imprime le choc ne se communique pas tout entier en un instant », et ce qu’« un corps en choque un autre qui est en arrêt, ou qui lui résiste ». Même avec un corps au repos, et n’ayant donc aucune force pour résister, la communication ne se fait pas instantanément. Dans toutes les circonstances de collisions (repos, mouvements contraires ou de même sens), le corps choquant « continuë d’avancer tant que le choqué lui cède », il « continuë son impression », les « parties du choqué, et de la matière subtile qui est dans leurs pores » cédant « quelque peu à l’effort du choc »⁶. S’il demeure vrai que « le plus foible » ne peut vaincre « le plus fort », il parvient cependant à « vaincre une certaine quantité de petites parties [de matières] qu’il choque dans le plus fort » (*ibid.*, p. 87). Aussi, il se fait une « réaction du choqué, et de la matière subtile contre le

1 *Ibid.*, p. 77. Pour le détail de ces calculs, voir OCM XVII-1, *Notes de l’éditeur*, notes 59 à 61 p. 213-214.

2 Les citations sont tirées de l’édition de 1712.

3 Malebranche, OCM XVII-1, 1700-1712, p. 81.

4 *Ibid.*, p. 83.

5 *Ibid.* Malebranche introduit une note de bas de page spécifiant qu’« il seroit bon de relire le dernier ch. du 6. Liv. où j’explique la dureté des corps par le poids ou la compression de la matière étherée ou plutôt le XVI. Eclaircissement vers la fin ». D’après le Chapitre IX du Livre VI l’élasticité et la dureté reposent sur l’action de la matière subtile. Sur l’Eclaircissement XVI et l’élasticité, voir Partie II, Chapitre I.

6 Malebranche, OCM XVII-1, 1700-1712, p. 85.

choquant » qui « ne se fait pas toute entière en un instant, mais successivement, et d'une partie à sa voisine » (*ibid.*) Les parties des corps reculent réciproquement, successivement, puis survient le rebond, d'autant plus prompt « que la force du ressort est grande » ou, ce qui revient au même, « que la matière subtile a été plus longuement comprimée par la résistance que le corps choqué a fait au choquant » (*ibid.*, p. 87). Malebranche illustre ceci en concevant les corps m_2 et m_1 de même masse et de vitesses 2 et 1 venant à la rencontre l'un de l'autre et composés « d'une infinité de petites parties ou de petits corps, comme 1. 2. 3. 4. etc. a, b, c, d . etc. » (Fig. 4) : a et b ensemble ont « autant de force » que 1 et se soutiennent ; a, b, c vainquent 1 et l'obligent à « reculer » jusqu'à ce que 2 la « soutienne » ; 1. 2. font « reculer » a, b, c etc. Ainsi les « petits corps » sont autant repoussés dans m_2 que dans m_1 , car le premier n'agit pas instantanément selon toute sa force sur l'autre « à cause que la matière subtile qui est entre les petits corps $a. b. c. 1. 2. 3.$ cede jusqu'à un certain point, où l'effort du choc est en équilibre avec la résistance de la matière subtile, équilibre qui ne peut durer qu'un instant ». Ensuite, la matière subtile « repousse également de part et d'autre les corps » ; « également », car les corps ne peuvent comprimer mutuellement la matière subtile dans leurs pores que parce qu'ils se résistent mutuellement « par un mouvement contraire » et qu'« il ne peut y avoir équilibre sans égalité de forces contraires » (*ibid.*, p. 89).

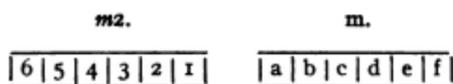


Fig. 4 : Malebranche, *De la recherche de la vérité* (1712), t. 3, p. 414

Dans l'étude précédente, la dureté des corps fait que « le plus fort ne reçoit aucune force ou aucun effet du choc du plus foible » (*ibid.*) Ici, la « matière subtile qui est entre les petits corps » rend possible une action et une réaction dans un processus continu, donc l'existence de deux mouvements au sein d'un même corps¹. Pour autant, Malebranche illustre cette compression mutuelle seulement pour deux corps allant dans des sens opposés et, de 1692 à 1699, un corps rattrapé par un autre plus rapide et un corps immobile n'offrent aucune résistance, donc aucune compression de la matière subtile : la réciprocité d'une action dans l'analyse de ces deuxièmes lois de 1692 (les corps « à ressort » dans le vide), lois rejetées à partir de 1700, ne concerne encore que les mouvements de sens opposés.

Les « secondes lois » de 1692-1699 et l'absence de réaction

A la suite de cette explication de la compression, Malebranche donne en 1692 une série d'articles agrémentés de nombreuses modifications datées de 1698 : cette partie disparaît en 1700 en raison essentiellement du rejet du principe de conservation cartésien. Les différentes règles de la période 1692-1699 sont établies à l'aide du principe de conservation de Descartes, en faisant « abstraction de la résistance de l'air, de celle de la matière subtile, qu'on attribue communément à la pesanteur du corps, & de celle enfin qui vient de la diversité de leur figure », et en remarquant « comme certain que le repos n'a nulle force pour résister au mouvement »².

L'étude s'ouvre par l'affirmation que « si on suppose que le ressort soit parfait, la réaction de la matière subtile sur chacun des corps choquez par des mouvements contraires, sera

1 En 1692, c'est une circulation de la matière subtile au sein d'un corps qui en explique l'élasticité : la matière subtile comprimée « retour[n]e avec toute la force dont le choc l'avoit comprimée [...] dans les pores dont elle avoit été chassée en partie », *ibid.*, 1692, p. 88. A partir de 1700, pour ce « ressort », Malebranche évoque une « matière subtile trop comprimée, c'est-à-dire trop contrainte dans son mouvement circulaire dans les pores des corps » ; ce mouvement circulaire est celui des petits tourbillons composant la matière subtile et dont les forces centrifuges permettent de penser la compression et la restitution, voir Partie II, Chapitre I.

2 Malebranche, OCM XVII-1, 1692-1699, p. 90.

précisément égale à la force du plus foible et non pas à la force du plus fort ni à celle que produit le choc ». Prendre en compte au moment du choc la « force du plus foible » revient à dire que la collision avec un corps au repos n'entraîne pas de compression puisqu'il n'a « nulle force ». Cette conclusion vaut pour un corps rattrapé par un autre : il ne développe pas de réaction car, dans ce type de choc le corps, le plus lent peut être considéré comme au repos. Dans ces deux cas, les règles établies pour les corps durs s'appliquent et, finalement, dans ces circonstances, l'issue du choc repose sur le même type de calcul de Q que précédemment et lors de la percussion l'agent exerce sa puissance sur le patient sans réciprocité. Ces deux types de collisions vérifient alors l'assertion que « si un corps est au repos ou n'a point de mouvement contraire, on peut regarder la réaction comme nulle »¹.

Ainsi, « le ressort n'est mis en jeu, pour Malebranche, que lorsque les corps se heurtent avec des mouvements contraires »² et ce jusqu'en 1699. Aussi, seules les règles concernant les mouvements contraires diffèrent de celles établies pour les corps durs et il n'existe donc pas de différences fondamentales induites par des différences de nature physique : « si un corps à ressort en choque un autre qui soit en repos et qui n'ait point de mouvement contraire pour lui résister, il est clair qu'il observera les mêmes loix de mouvement que les corps durs sans ressort, car un ressort qui n'est point bandé n'a nul effet » ; « le ressort des corps n'est bandé, ou ce qui est la même chose, la matière subtile n'est comprimée qu'à proportion de la résistance que le corps choqué ou le fluide qui l'environne fait au choquant »³. Le processus continu de compression mutuelle décrit plus haut n'affecte donc que les mouvements en sens contraires. Si un mobile vient heurter un corps au repos, il manque en quelque sorte une force pour comprimer la matière subtile remplissant les pores des corps ; la compression résulte d'un rapport de forces qui ne peut exister que pour des mouvements opposés si le milieu n'offre pas de résistance. Ainsi, pour des corps plongés dans le milieu en supposant que celui-ci ne résiste pas, la matière est dépourvue de propriétés inertielles et la critique de la force de repos ne concerne pas seulement la résistance introduite dans la règle 4 de Descartes, mais bel et bien la possibilité qu'a un corps de réagir.

Malebranche souligne qu'« on pourroit peut-être s'imaginer qu'un corps au repos résiste effectivement au mouvement de celui qui le choque avec beaucoup de vitesse » car « il faut qu'un même corps ait une force double pour donner à un autre qu'il rencontre une vitesse double » : « on pourroit croire que cela vient de ce que les corps en repos résistent doublement à une vitesse double ». Mais il ajoute qu'« il faut prendre garde que s'il faut le double de force pour donner à un corps une vitesse double, cela ne vient nullement de ce que le repos a une force véritable, mais de ce qu'il faut que la cause réponde à l'effet »⁴. La justification se fonde sur l'incapacité de concevoir quelque chose de positif dans le repos, assimilé à un « néant », propos figurant déjà dans l'explication de la cohésion des corps :

pour créer deux pieds de matière, il faut le double d'action ou de volonté active dans le Créateur que pour n'en créer qu'un pied. Mais ce seroit fort mal raisonner que d'en conclure que le néant résiste effectivement à l'action du Créateur. Un corps en repos quelque grand qu'il soit, ne peut donc résister à un fort petit, quoy qu'il en soit choqué avec une grande vitesse, parce qu'il peut en recevoir l'impression, en prenant une vitesse qui soit en raison réciproque de sa masse et le petit demeure en repos⁵.

Le fait que « la cause réponde à l'effet » ne signifie rien d'autre que le « plus fort » exerce la totalité de son action, au point d'être au repos après le choc dans le cas du choc dit « carreau », et qu'il transmet alors tout son mouvement. L'attention du philosophe se porte

1 *Ibid.*

2 OCM XVII-1, *Notes de l'éditeur*, note 83 p. 217: « Au fond, Malebranche a cru trouver une explication rationnelle de la destruction des mouvements contraires : cette destruction sert à la compression de la matière subtile ».

3 Malebranche, OCM XVII-1, 1692-1699, p. 92 ; « ou le fluide qui l'environne » correspond à un ajout de 1698.

4 *Ibid.*, p. 92-94.

5 *Ibid.*, p. 94. La phrase « et le petit demeure en repos » correspond à un ajout de 1698-1699.

sur le seul mouvement et, finalement, le principe de conservation du mouvement justifie la perte de vitesse du mobile incident. Si, dans un tel exemple, Descartes mentionne une « *Inertie Naturelle* », laquelle repose sur d'une loi de permanence et une équivalence des états, l'absence de cette équivalence chez Malebranche fait que la question d'une conceptualisation de l'inertie ne se pose pas¹. Quels que soient les fondements des inerties cartésienne, newtonienne ou encore leibnizienne, leurs effets sont semblables en ce sens qu'elles expliquent une perte de mouvement qui, par exemple chez Newton, fonde la quantification de la force d'inertie. *A contrario* la métaphysique malebranchiste éloigne l'oratorien des fondements de la mécanique classique. L'action dérive chez Malebranche de la seule « force mouvante », soit d'un mouvement, et le philosophe substitue au couple action-réaction le couple action-résistance, ce dernier n'impliquant que des mouvements de sens opposés. Leibniz, dans une lettre adressée à Malebranche datée de mars 1699, critique le contenu de la citation ci-dessus en soulignant l'absence d'inertie chez le philosophe :

le repos n'a point de force pour resister au mouvement. Je l'avoue, mais la matiere a une inertie naturelle car elle ne peut être mise en mouvement, sans qu'il en couste au moteur quelque chose de sa force. Et ce que dit l'auteur [...] que le neant ne resiste point d'avantage au createur, quand il produit deux pieds de matiere, que lors qu'il en produit qu'un pied est vray, mais aussi le créateur n'y perd rien de sa force. L'inertie de nos corps sensibles est proportionnelle a la pesanteur. C'est ce que je dis icy par occasion pour satisfaire au doute qui se trouve p. 32. Cette inertie fait qu'un aix est plustost percé que mû par une balle de mousquet ; ce qu'on ne sçaurait attribuer à la resistance de l'air, comme il semble qu'on fait p. 31, car quand un vent contribueroit à pousser et l'air, et l'aix, la balle ne laisseroit pas de percer l'aix, pour ne dire qu'il en arriveroit autant dans le vuide. Si la matiere estoit indifferente au mouvement et au repos [et s'il y avoit des corps durs sans ressort] il arriveroit dans le concours une simple composition des conatus de l'un et de l'autre, c'est à dire le corps pour n'estre point empeché garderoit sa tendance et recevrait encor celle que l'autre tache de luy donner. C'est ce que j'appellois la Theorie du mouvement abstrait dans un petit traité imprimé en 1671. Mais je reconnus qu'il n'est point conforme au systeme : et j'ay trouvé depuis que la matiere n'est pas [comme] je la supposois avec les autres. Autrement le moindre corps pourrois mettre en mouvement le plus grand, sans rien perdre de sa force, et il n'y auroit point de choc ny de resistance, quand deux corps vont d'un même costé².

Quelques lignes plus loin, Leibniz dénonce l'identité rencontré chez Malebranche entre les règles des corps parfaitement durs et celles des corps « à ressort » lorsqu'un mobile en rattrape un autre. Il estime pour sa part que les « ressorts » sont bandés, « comme la raison le confirme » et que cette interprétation est fondée « sur l'inertie de la matiere, laquelle resiste à ce qui la met en mouvement, ou qui fait croître celui qu'elle a »³. Les p. 31 et p. 32 du livre de 1692 évoquées dans la citation ci-dessus concernent le rôle que Malebranche attribue à la pesanteur dans la résistance à une mise en mouvement : plus précisément, le savant ne considère pas la pesanteur « proportionnelle » à la quantité de matière comme indicateur de l'inertie, comme le fait Leibniz, mais il évoque la pesanteur en tant qu'elle renseigne sur la configuration physique du corps et la résistance à la matière subtile qu'il offre. Malebranche prend l'exemple d'un « ais » suspendu recevant « un coup de mousquet » : la balle perce la planche sans que celle-ci n'avance notablement. Le savant attribue ceci à l'air et, par ailleurs, la pesanteur du corps renseigne sur l'action résistante de la matière subtile. Nous reviendrons ci-dessous sur le lien entre pesanteur et résistance de la matière subtile. Quoi qu'il en soit, les explications de Malebranche sur la quasi-absence du mouvement de l'ais ne reposent pas sur

1 Comme souligné (Partie I, Chapitre I), l'inertie comme l'entend Descartes dépend d'une loi de conservation. Garber, *La physique métaphysique de Descartes*, p. 386 souligne que « l'inertie apparaît dans cette conception comme une sorte de force 'imaginaire' ; bien que des corps se comportent comme s'il y avait là une certaine sorte de résistance interne opposée au mouvement, tout ce qui est réellement là est une simple substance étendue, conforme aux lois que lui impose le soutien continu d'un Dieu immuable ». Pour Malebranche les corps ne peuvent pas se comporter « comme s'il y avait là une certaine sorte de résistance interne » étant donné que la loi de permanence exclut le repos.

2 Lettre de Leibniz à Malebranche du 13/23 mars 1699, dans OCM XIX, p. 670-671.

3 *Ibid.*, p. 672.

la prise en compte de l'inertie de la planchette, ce que critique Leibniz. Ce n'est pas la matière en tant que telle qui permet de penser l'opposition à une mise en mouvement mais la manière dont le milieu agit sur elle.

Un milieu qui vient tout à la fois conférer résistance et cohésion des corps, et dont l'action illustre d'une certaine manière la difficulté de penser la matière avec des propriétés – cohésion, inertie – qu'elle aurait en soit. Lorsque deux corps « mous » – ceux pour lesquels on ne considère pas l'action du milieu extérieur qui confère dureté et « ressort » aux corps – vont dans le même sens ou qu'un des corps est immobile, à l'issue du choc ils cheminent ensemble avec une vitesse finale commune. Pour des mouvements contraires, Malebranche affirme que pour ce type de corps « la partie du plus fort, qui multipliez par sa vitesse est l'excez de la force du plus fort sur le plus foible, continuera son chemin avec la même vitesse qu'auparavant », autrement dit, il « perce à jour le plus foible », le philosophe relevant toutefois qu'une telle conception reste difficilement envisageable au regard de l'expérience et qu'il faut alors accorder un tant soit peu de dureté aux corps :

si pour accorder cecy avec les experiences qu'on peut faire, on veut supposer que les corps mous ont quelque dureté par l'air ou la matiere subtile qui les comprime, & que l'air résiste au mouvement latéral qui est composé de deux determinations contraires au choc, & cela suffisamment pour empêcher que le corps mou le plus fort ne perce à jour le plus foible, alors les deux corps s'applatiront, leurs mouvemens contraires se détruiront en apparence, & l'excez de la force du plus fort divisée par les masses des deux corps sera la vitesse avec laquelle ils iront de compagnie. Il me semble que cela n'a besoin ny d'explication, ny de preuve supposé que le repos n'ait point de force, et que la pesanteur et l'air ne fasse aucune resistance¹.

Le milieu donne à la fois une cohésion à la matière et permet de fonder une résistance ; ici en l'absence de force pour le corps au repos, une partie du mobile ne perd pas sa vitesse initiale malgré le choc et, en l'absence de cette force et du milieu, les corps ne subissent pas de compressions susceptibles d'entraîner des rebonds².

« Les loix générales de la communication des mouvemens fondées sur l'expérience »³

En 1692, 1700 et 1712, Malebranche écrit que les opérations prescrites par « les regles qui regardent la Physique » doivent répondre « aux effets naturels » et les représenter « à l'esprit ». Ainsi, « si le calcul ne s'accorde point avec les operations de la nature, il est clair que la regle qui le prescrit n'est point fondée en raison, quoiqu'elle puisse s'accorder quelquefois à l'experience. Une telle regle au lieu de nous conduire à quelque intelligence de la vérité, est ordinairement une occasion d'erreur »⁴. La « regle » en question est celle établie expérimentalement par Mariotte et dont Malebranche, de 1692 à 1699, récuse chacune des opérations : il évoque « plusieurs Sçavans Mathématiciens », ayant fait « un grand nombre d'experiences fort exactes sur le choc des corps », un astérisque renvoyant à « M. Mariotte »⁵.

1 Malebranche, OCM XVII-1, 1692-1699, p. 92. Dans sa *Théorie du mouvement concret*, § 21, Leibniz note qu'« aucun corps considéré en lui-même, s'il n'était animé par une perpétuelle ventilation de l'éther, ne refléterait ni ne réfracterait, au moins selon les lois qui sont rapportées habituellement. Car si un corps mû vient à se heurter à un corps en repos, il le perforera tout entier sans aucune réfraction, même si celui qui avait la grandeur d'un grain de sable et celui qui reçoit le choc l'épaisseur de mille lieux », voir Leibniz, *Theoria motus abstracti seu rationes Motuum universales a sensu et Phænomenis independentes*, *Die Philosophischen Schriften*, vol. IV, p. 221-240. Citation tirée de *Théorie du mouvement abstrait ou raisons universelles des mouvements indépendantes de la sensation des phénomènes*, éd. René Violette, *Lettres et opuscules de physique et de métaphysique du jeune Leibniz (1663-1671)*, Nantes, Sciences et Techniques en Perspective, vol. 6, 1984-1985, p. 68.

2 Dans ce choc, Malebranche imagine donc juste ce qu'il faut d'action du milieu pour conférer une cohésion aux corps sans pour autant que ce milieu apporte une élasticité à la matière et la fasse résister.

3 Malebranche, OCM XVII-1, 1712, p. 113.

4 *Ibid.*, 1692-1712, p. 117.

5 *Ibid.*, 1692 et 1700-1712, p. 112-113. En 1692, « fort exactes » n'apparaît pas dans cette phrase

La règle expérimentale de Mariotte pour les chocs parfaitement élastiques permet de déterminer l'issue d'une collision de deux corps et comprend trois étapes. Tout d'abord, il faut considérer les corps comme mous et chercher la vitesse finale après collision. Ensuite, il faut faire agir le « ressort » : ce dernier distribue à chaque masse la vitesse relative des corps réciproquement à ces masses ou, ce qui revient au même, donne à chaque corps des vitesses inversement proportionnelles aux masses. Enfin, il faut déterminer les vitesses finales des corps en ajoutant ou retranchant entre elles les vitesses obtenues pour chaque corps dans les deux précédentes étapes¹.

Pour Malebranche, le calcul définit par la première étape de cette règle ne paraît « pas d'abord répondre à l'effet naturel qu'il doit représenter à l'esprit », et la seconde étape semble « contraire à la raison »². Il soulève deux difficultés. D'une part, « la première opération paraît fort étrange » puisqu'elle invite à appliquer à des « corps durs à ressort » une règle valable pour les corps mous et, d'autre part, la « force du ressort », après le calcul de la seconde opération, paraît supérieure à la force initiale des mobiles, création *ex nihilo* contraire à la raison et à l'expérience. Malebranche illustre ce dernier point par la collision entre $m24$ et $3m0$. Le premier corps comprime la matière subtile de « toute sa force qui est $m24$ », quantité mesurant la « force du ressort ». Suivant la seconde opération définie par la règle de Mariotte, la vitesse 24 se répartit pour chaque corps en proportion inverse des masses, le corps percutant se voyant alors repoussé avec $m18$, l'autre avec $3m6$. Dans ces conditions, « la force du ressort doit être $m36$ [$m18+3m6$] plus grande d'un tiers que $m24$: et cette force auroit encore été plus grande, si le corps [au repos] avoit eu plus de masse ». Ainsi, « la force du ressort, ou la réaction de la matière subtile » dépasse « la force qui l'a comprimée. Cela ne paraît pas conforme à la raison ». Malebranche additionne donc ces deux mouvements restitués pour définir la « force du ressort » assimilée à la réaction de la matière subtile. Cette augmentation du « ressort » paraît aussi contraire à l'expérience : Malebranche invoque le cas de la chute libre d'une boule « à ressort » qui « jamais ne remontera plus haut que le lieu dont elle est tombée »³.

Ces jugements sonnent comme « un refus opposé à Mariotte »⁴ et plaident en faveur d'une élaboration *a priori* des règles du choc⁵. De 1692 à 1699, l'expérience et la méthode des expérimentateurs se voient critiquées, ces derniers ne donnant pas « un grand nombre d'expériences exactement décrites & rangées dans un ordre naturel », n'établissant pas « des règles dont les opérations du calcul suivroient pié à pié les effets naturels, & y répondroient à peu près », se contentant « d'établir des règles qui ne donnent ce me semble nulle ouverture à l'esprit, parce qu'elles ne découvrent point le principe naturel dont elles doivent être tirées ». D'où la conclusion du livre de 1692 conférant au seul domaine du spéculatif une légitimité dans ses conclusions :

1 Mariotte, *Traité de la percussion*, p. 115-119. Sur le fait que le partage de la vitesse respective en proportion inverse des masses donne des vitesses de rebond en proportion inverse des masses, *ibid.*, p. 90-97. Voir Malebranche, OCM XVII-1, 1700-1712, p. 115 pour l'exposition de « règle générale pour le choc des corps à ressort ».

2 Malebranche, OCM XVII-1, 1692-1699, p. 116.

3 Malebranche écrit en 1699 que « ces raisons [relatives aux deux parties de la règle] fort vraisemblables m'ont autrefois fait douter de la justesse des expériences, et prévenu d'abord contre la règle générale ou plutôt contre les opérations qu'elle prescrit ». Dans le texte de 1700 et 1712, la dernière partie de la phrase change, Malebranche écrivant « prévenu d'abord contre la règle générale, par laquelle la quantité absolue de mouvement change sans cesse ». Autrement dit, avant 1699, Malebranche s'en tient toujours à la conservation de « la quantité absolue du mouvement » et les opérations de la règle de Mariotte, et donc les expériences, s'avèrent inconciliables avec ce principe. *Ibid.*, 1692-1699 et 1700-1712, p. 116-119.

4 Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences*, p. 155.

5 A cet égard, « ce traité de 1692 est une ultime tentative pour en [les résultats de Mariotte et la conservation de mouvement algébrique] retarder la reconnaissance et prolonger le règne de la spéculation pure à la cartésienne », et le livre « s'acharne à prouver que ses [Mariotte] résultats ne coïncident en rien avec les exigences de la spéculation », Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences*, p. 138 et p. 152.

et peut-être quelqu'un auroit-il trouvé le vrai système dont dépend la raison de toutes ces expériences [...] Pour moi je ne prétens pas avoir fort approché du but. Je n'ai ni le loisir de m'exercer à ce jeu, ni les expériences nécessaires pour me redresser, & pour me conduire. Apparemment je me suis trompé dans les secondes loix [celles dans le milieu sans tenir compte de sa résistance], & je ne prétens pas avoir rien établi dans les troisièmes [celles dans le milieu en tenant compte de sa résistance]. Mais il me semble que j'ay suffisamment prouvé & expliqué les premières, & ce sont les seules qu'on avoit quelque droit de me demander¹.

Ces premières lois portent sur les corps parfaitement durs et Malebranche souligne leur indépendance à l'égard de l'expérience ainsi que « leur inutilité pour la Physique » puisque les corps dans la nature sont « à ressort » ; ces lois ont le statut d'exercice de « géomètre »².

A l'occasion des réflexions menées de 1692 à 1699 afin de fonder « en raison » les règles de Mariotte, Malebranche recourt au milieu afin d'expliquer la résistance d'un corps immobile à sa mise en mouvement.

De 1692 à 1699 : la résistance du milieu

Malebranche évoque la conformité des « secondes loix » avec « la raison » sans prétendre qu'elles « doivent s'accorder avec l'expérience, ou plutôt avec ce qu'il y a de visible ou sensible dans les expériences »³. De fait, ces lois ne correspondent pas à celles observées par l'expérience. Cette dernière correspond à la situation où les corps sont dans le milieu et il s'agit alors des « troisièmes loix » du choc où Malebranche considère « les corps comme dans les seconde loix avec ce ressort qu'ils tirent de l'action de la matière subtile, qui se meut dans leurs pores en tous sens, et surtout qui y circule avec une vitesse comme infinie » et où il prend aussi en compte « la résistance qu'elle fait aux corps qui ne peuvent se mouvoir sans la déplacer »⁴. De 1692 à 1699, cette résistance et celle de l'air entrent de plain-pied dans la détermination des règles du choc des corps ; Malebranche ne considère pas le milieu extérieur comme perturbateur, mais bien au contraire comme indispensable à l'établissement des règles du choc.

Aussi, il s'efforce de justifier l'écart entre la théorie – les « secondes loix » – et l'expérience en avançant quatre raisons. Tout d'abord, l'hypothèse de « corps à ressort parfait » ne correspond pas forcément à la réalité⁵. Puis la résistance de l'air augmente « en même raison que la surface » et « en raison doublée de la vitesse » : « il suit de cela, du moins en partie que si un grand corps est suspendu & en repos, & qu'un fort petit le choque, il rejaillira : que si c'est un ais assez grand qui soit suspendu, un coup de mousquet le percera sans que cet ais avance notablement », tandis que les « secondes loix » prévoient une mise en mouvement de ce corps⁶. Il existe aussi une cause « beaucoup plus considérable que celle de l'air », à savoir « la résistance qu'on attribue communément à la pesanteur, à cause que la résistance est d'autant plus grande que les corps sont plus pesans ». En supposant un corps « fort pesant [...] suspendu & au repos » heurté par un autre de même volume « plus léger », ce dernier rejaillit et ce en contradiction avec les « secondes loix ». Cette différence ne résulte pas de la résistance de l'air puisque les volumes sont identiques et, à proprement parlé, pas davantage de la pesanteur qui correspond à une force agissant verticalement alors que ce choc

1 Malebranche, OCM XVII-1, 1692-1699, p. 124.

2 *Ibid.*, 1700-1712, p. 57 et p. 79.

3 *Ibid.*, 1692-1699, p. 104.

4 *Ibid.*, 1692-1699, p. 112.

5 *Ibid.*, 1692-1699, p. 106. La « force du ressort » provient de la matière subtile et Malebranche évoque deux causes de sa diminution. Tout d'abord, si des corps se choquent avec une « force » plus grande que celle avec laquelle la matière subtile comprime et unie les parties des corps voisines du point d'impact, « la force de son ressort recevra quelque diminution par la separation de quelques-unes de ses parties ». Ensuite, si la matière subtile est poussée avec trop de force elle peut être chassée trop loin des pores où elle était « pour y revenir assez promptement avec la même force ».

6 *Ibid.*, 1692-1699, p. 106-108. Voir ci-dessus cet exemple de l'ais.

est horizontal. Ce raisonnement sur le choc avec corps suspendu conduisant à la réfutation que la pesanteur comme cause de la résistance figure chez Mariotte : pour ce dernier, la résistance qu'oppose le corps provient de sa « quantité de sa matière ». Mariotte remarque que « la résistance de l'air contribuë fort peu [à la résistance à une mise en mouvement] puisqu'une boule de plomb de deux livres resistera plus au mouvement d'une boule de terre molle, qu'une boule de bois d'une livre ; quoy que le volume de cette dernière estant plus grand, elle pousse plus d'air devant soy, & en entraîne plus apres soy que l'autre ». Par ailleurs, si un corps plus pesant qu'un autre résiste davantage lorsqu'il est choqué horizontalement, ça n'est pas à cause « du principe de mouvement vers la terre », autrement dit sa pesanteur, car « son mouvement vers le centre n'est point empêché »¹. Pour sa part, Malebranche explicite la cause de cette résistance en faisant intervenir la matière subtile :

les corps les plus pesans sont ceux qui ont le moins de pores, ou de plus petits. Or il est évident que l'air ou quelque fluide que ce soit ne resiste au mouvement d'un corps que parce que ce corps déplace les petites parties de l'air ou du fluide, & les chasse devant lui, & plus un corps est serré, & à moins de pores par où l'air tant grossier que subtil puisse passer, & plus il est obligé de chasser devant lui de parties de ce fluide. Donc plus un corps est pesant, plus il trouve de resistance à être mû même horizontalement, & surtout s'il est mû avec beaucoup de vitesse par les raisons que je viens de donner. Par exemple quoiqu'on remue une raquette dans l'air avec beaucoup de vitesse, on ne trouve presque point de resistance parce que l'air passe librement par les trous de la raquette, & qu'elle ne pousse que les parties d'air que rencontrent ses cordes & le bois dont elle est composée. Si l'on mettoit sur cette raquette une peau trouée comme l'est un crible, la resistance seroit plus grande, parce que l'air n'y passeroit pas si librement, & que la peau en choqueroit un plus grand nombre de parties que la raquette toute seule. Si donc on conçoit que tous les corps sont comme des cribles à l'égard de la matiere subtile, & que les plus pesans sont ceux qui ont le moins de trous, ou de plus petits, on verra sans peine par cette comparaison que les plus pesans apportent plus de resistance au mouvement, parce qu'ils déplacent plus de parties de la matiere subtile. Il faut seulement remarquer qu'il y a cette difference entre la resistance de l'air & celle de la matiere subtile, que celle de l'air n'augmente qu'à proportion de la grandeur de la surface des corps en mouvement ; parce que l'air grossier dont je parle n'en penetre pas les pores : au lieu que celle de la matiere subtile augmente à peu près comme leur masse ou leur solidité ; parceque cette matiere penetre les pores d'un corps d'autant moins qu'il est plus solide et qu'ainsi un corps ne peut être mû qu'il ne chasse devant lui d'autant plus de matiere subtile qu'il est plus solide. Et c'est principalement pour cette raison que la resistance de la pesanteur, puisqu'on la nomme ainsi, est bien plus grande que la resistance de l'air².

Le dernier facteur résulte des « figures des corps » qui apportent « beaucoup de varietez dans la communication des mouvemens » : « à cause de la resistance de l'air » déjà évoquée, et parce que si le corps possède une grande vitesse « l'air n'a pas assez de mouvement pour circuler promptement, & prendre par derriere la place que quitte le corps », autrement dit la « figure » influe sur la circulation du fluide³.

Ce rôle due l'air et de la matière subtile dans l'établissement des règles dans le milieu est illustré par l'exemple tiré du livre de 1692 impliquant la collision de corps durs à « ressort » $3m0$ et $m24$ qui conduit aux mouvements finaux $-m12$ et $3m12$. Malebranche détaille l'obtention de ce résultat en modifiant les opérations préconisées par Mariotte afin de d'établir « une regle qui prescrive des operations qui s'accordent avec les effets, & qui representent à l'esprit ce qui se passe actuellement »⁴. A la première étape prescrite par Mariotte reposant sur le choc de corps mous, Malebranche substitue une collision de corps durs telle que définie dans les « secondes loix » : « les corps sont mûs à proportion qu'ils sont poussez, on conçoit naturellement que $3m0$ étant poussé par $m24$, il doit devenir $3m8$: & $m24$ n'étant point repoussé, puisque $3m0$ n'a point en lui de force contraire, $m24$ doit

1 Mariotte, *Traité de la percussion*, p. 34-37.

2 Malebranche, OCM XVII-1, 1692-1699, p. 108-110. Sur la notion de « solidité » voir Partie I, Chapitre I.

3 *Ibid.*, p. 110.

4 *Ibid.*, 1692, p. 118.

demeurer m_0 »¹. Malebranche s'appuie donc sur la maxime que « les corps sont mûs à proportion qu'ils sont poussez » : la « force » m_{24} agit intégralement sur $3m_0$ ce qui conduit à un transfert de mouvement d'une quantité m_{24} sur le corps de masse $3m$ qui possède alors le mouvement $3m_8$ ². Il s'appuie aussi sur le fait que le repos n'a pas de force : « m_{24} n'[est] point repoussé » car « $3m_0$ n'a point en lui de force contraire ». Puis, ici, Malebranche affirme que contrairement au contenu des « secondes loix » pour lesquelles la compression mutuelle n'existait qu'en présence de mouvements contraires et non avec un des corps au repos, m_{24} « pousse » $3m_0$ et comprime « également la matiere subtile qui étoit dans les pores des deux corps ». Mais cette réciprocité ne provient pas d'une opposition au changement que développe le corps immobile : elle résulte de « la resistance continuelle d'une masse $3m$ de l'air tant subtil que grossier, qu'il a fallu déplacer tout d'un coup avec la vitesse 8, & faire circuler pour prendre par derriere la place du corps $3m$ »³.

La « force du ressort » vaut m_{24} et, au moment du maximum de compression, s'instaure « une espece d'équilibre » provoqué par la résistance du milieu. Ensuite, « la matiere subtile dont la force est comme infinie refluant & passant avec violence dans les pores de ces deux corps qui sont appuyez l'un sur l'autre, élargit promptement ces pores, & repousse également les corps avec la force m_{24} » ; « ceci doit servir à regler la seconde operation de la regle » de Mariotte des collisions « à ressort » dans le milieu. Plus précisément, l'air « subtil » et « grossier » faisant opposition, la quantité de mouvement m_{24} se partage en deux parties égales, parties mesurant les compressions affectant chacun des deux corps. L'analyse procède donc à une division équitable d'une quantité disponible, la « force » m_{24} , ce partage égal provenant d'une conception de la collision sous-tendue par une idée d'équilibre. Finalement, m_0 devient $-m_{12}$, et $3m_8$ recevant m_{12} (ou encore $3m_4$) devient $3m_{12}$ ⁴.

Pour des mouvements en sens contraires, après la destruction du mouvement du « plus foible », s'instaure aussi « une espèce d'équilibre », le résidu de force du « plus fort » poussant l'autre corps dorénavant au repos qui en retour se voit opposé la résistance du milieu : « le contre coup que l'air fait (j'entens toujourns le subtil et le grossier) suffit pour arrêter & contre-balancer un moment l'un sur l'autre les deux corps : & la raison de ceci est qu'apparamment tout est plein » ; le « plus foible » pousse « l'air qui est devant lui, cet air le repousse & lui resiste d'abord infiniment ». A nouveau, un des corps étant au repos, et dans cet état n'ayant pas de force, la résistance provient du milieu. Cette opposition entraîne un partage égal de la force résiduelle du mobile : cette « force » égale la compression subie par les deux corps. Par ailleurs, la « compression directe » des corps provoque aussi une « compression latérale » de l'« air » « subtil » et « grossier » générant, après la phase de « résistance infinie », une circulation qui permet à cet « air » de « prendre la place du corps [le plus faible] par derriere, & lui en cede autant en avant : de sorte que ce corps avance librement avec la force qu'il a reçue du corps choqué »⁵.

1 *Ibid.*, 1692, p. 118.

2 Rappelons que la collision de corps durs « à ressort » impliquant un corps au repos dans un milieu qui ne résiste pas est la même que si ces corps étaient durs sans « ressort » : m_{24} transfert intégralement sa « force » sans rebond et devient m_0 .

3 *Ibid.*, 1692, p. 118-120.

4 *Ibid.*, 1692, p. 120.

5 *Ibid.* Malebranche prend le choc de $3m_{12}$ contre m_{12} . La première étape correspond à une collision suivant les « secondes loix » : le plus petit corps détruit une quantité de mouvement équivalente dans le plus grand ce qui conduit au $3m_8$ ($3m_{12} - m_{12} = 2m_{12}$ soit $3m_8$) et m_0 . L'équilibre, impliqué par le milieu, conduit au transfert de m_{12} à m_0 , et il reste $3m_4$ à l'autre : en effet, la quantité $2m_{12}$ comprime la matiere subtile dans les deux corps et se répartit équitablement pour chacun d'eux. Puis vient la restitution de la « force de compression » valant m_{24} qui se partageant équitablement conduit à $3m_0$ ($3m_4 - m_{12}$) et m_{24} ($m_{12} + m_{12}$). Malebranche souligne que le résultat de la collision entre m_{24} et $3m_0$ donne m_{12} et $3m_{12}$, à savoir les vitesses initiales de ce dernier exemple : ceci semble « conforme à l'expérience, & paroît même conforme à la raison. Car il est clair que ces deux corps apres le second choc, doivent reprendre leur premier état, s'ils se rendent mutuellement les forces qu'ils se sont données, ce qu'on suppose naturellement devoir arriver », *ibid.*, 1692, p. 122.

Dans toutes les configurations de choc, le milieu permet une compression par la résistance qu'il offre à une mise en mouvement : une résistance que ne développent pas en propre les corps. Ce type d'analyses se retrouve dans des corrections apportées en 1699. A cette date, Malebranche donne aussi un exemple de collision entre deux corps durs « à ressort » dans le vide, un animé de « cent degrez de vitesse » percutant l'autre au repos, « cent fois plus grand que lui » :

il le renverroit avec un degrez de vitesse, sans que les parties de ce grand corps souffrissent la moindre compression ou se missent en ressort, puisque la compression ne peut se faire que par la resistance, et que la resistance ne peut venir du repos qui n'a nulle force ; et que par le vuide que je suppose, je fais abstraction de la resistance de la matiere que les corps mus sont obligez de deplacer. Mais d'un autre coté l'experience apprend que dans le plein, un petit corps en choque un autre, rejaillit encor avec beaucoup de vitesse, quoique ce grand corps soit en repos ; parce que les parties du corps choqué sont comprimées et mises en ressort par le choq et la resistance de la matiere subtile qui environne ce corps et qu'il doit deplacer pour se mouvoir¹.

La lecture des « secondes loix » et des « troisiemes loix » montre donc que Malebranche fait un lien direct entre l'absence de force de repos et l'absence d'une compression du mobile incident, autrement dit, un lien direct entre le rejet de cette force et celui de la réaction du corps au repos sur ce mobile.

Les règles définitives

Dans les textes de 1700 et 1712 l'expérience ne joue plus un rôle ancillaire. En effet, « la regle [de Mariotte] est confirmée par un grand nombre d'periences exactement faites » et « il est impossible, en établissant d'autres operations, qui d'abord paroîtroient peut-être plus vrai-semblables, de ne rien dire qui ne choque ces experiences ». Il faut donc « non seulement s'en tenir à la regle, mais tâcher de découvrir les raisons physiques des operations qu'elle prescrit »². Ce changement s'accompagne de l'adoption du principe de conservation de « la quantité de mouvement de même part » que l'expérience « apprend » : « les mouvemens particuliers peuvent varier, mais [...] la force en general de même part demeure toujours la même ; ou [...] le centre de pesanteur des corps qui se choquent, a la même vitesse avant et après le choc »³.

En premier lieu, il convient d'expliquer l'utilisation des lois de collision des corps mous dans la première opération prescrite par la règle de Mariotte alors que l'étude concerne des chocs de corps durs élastiques :

1 *Ibid.*, Source B2, p. 128-130. Voir aussi p. 138 : « dans le plein le mouvement ne se communique pas en un instant comme dans le vuide, mais successivement, et peu à peu à cause de la resistance de la matiere qu'il faut deplacer ».

2 Malebranche, OCM XVII-1, 1700-1712, p. 125. Les « autres operations [...] peut-être plus vrai-semblables » sont celles établies en 1692 et jusqu'en 1699 exposées précédemment : les « troisiemes loix » sont fondées sur les « secondes loix » et non sur des collisions de corps mous comme le prescrit Mariotte. Mais Malebranche reconnaît en 1699 que « si on prenoit d'autres exemples [de choc que ceux qu'il donne] à examiner on rencontreroit certaines difficultez dans les operations, & le calcul ne s'accorderoit pas avec l'experience », *ibid.*, 1692, p. 122.

3 *Ibid.*, 1700-1712, p. 127. Il semble qu'un tel changement résulte de l'influence conjuguée des données expérimentales et de Leibniz. Malebranche annonce à Leibniz son ralliement à cette thèse en décembre 1698 : « en relisant à la campagne où j'avois quelque loisir, le méchant petit traité de la communication des mouvemens [de 1692], et voulant me satisfaire sur les troisièmes loix, j'ai reconnu qu'il n'étoit pas possible d'accorder l'experience avec le principe de Descartes que le mouvement absolu demeure toujours le meme. J'ai donc tout changé ce traité, car je suis maintenant convaincu que le mouvement absolu se perd et s'augmente sans cesse et qu'il n'y a que le mouvement de même part qui se conserve toujours le même dans le choc. J'ai donc tout corrigé ce traité mais je ne scai pas encore quant on le réimprimera. Je vous dis ceci Monsieur afin que vous continuiez d'être persuadé que je cherche sincerement la verité, et que je merite en partie par cette disposition de mon esprit que vous continuiez de m'aimer autant que je vous honore ». Lettre de Malebranche à Leibniz du 13 décembre 1698, OCM, XIX, p. 652.

il me paroît clair que tout corps par lui-même est infiniment mou puisque le repos n'a point de force pour résister au mouvement, et qu'ainsi une partie d'un corps plus poussée que sa voisine doit s'en séparer. De sorte que les corps durs ne sont tels que par la compression de la matière invisible qui les environne, et qui en pénètre les pores¹.

Ainsi, « par lui-même » le corps est mou du fait de l'absence de force de repos ; pour justifier cette affirmation, Malebranche indique sous la forme d'une note « *V. le dernier chapitre de la Recherche de la Vérité* », soit le Chapitre IX du Livre VI de *De la recherche sur la dureté*. La première opération se conçoit sans prendre en compte le fluide au niveau du point d'impact : « on doit donc [...] considérer les corps qu'on appelle durs, comme s'ils étoient mous ; du moins jusqu'à l'instant de la parfaite compression ou réaction de la matière subtile qui fait ressort : car jusques-là les petites parties, dont les corps choquans sont composez, obéissent réciproquement à l'effort du choc les unes après les autres » selon le mécanisme de compression mutuelle expliqué plus haut (*ibid.*, p. 129). Durant cette phase, « la force des mouvemens contraires comprime la matière subtile, et lui communique son mouvement » et ce qui reste alors de mouvement au « plus fort » se distribue aux deux corps.

Le « ressort » intervient dans la seconde opération qui consiste « à distribuer réciproquement aux masses des corps leur vitesse respective », Malebranche soulignant la conformité à « la raison » de cette opération puisque « les corps qui se sont choquez doivent [...] être repoussez à proportion de la compression de la matière subtile qui fait la force du ressort, compression qui dépend de la vitesse respective avec laquelle les corps se choquent ». La « parfaite compression de cette matière subtile », autrement dit sa compression maximale, correspond à un « instant d'équilibre » où « l'effort de cette compression, doit nécessairement être égal de part et d'autre dans chacun des corps choquez ; car il ne peut y avoir d'équilibre sans égalité de forces contraires ». Par conséquent, « il faut que les mouvemens des corps rejaillissant soient égaux », et donc « que par l'effort du ressort, leurs vitesses soient réciproquement comme leurs masses » (*ibid.*, p. 133). L'article suivant explicite le raisonnement en étudiant le cas où $m24$ et $3m8$ viennent respectivement heurter $5m0$. Malgré la même « force » disponible pour les mobiles incidents ($m24$), les résultats des deux chocs diffèrent car la matière subtile ne subit pas la même compression : dans le premier cas, « la force de cette compression » vaut $m20$ et, dans le deuxième, $3m5$ (*ibid.*, p. 139). En effet, « le ressort des corps ne se bande, ou ce qui est la même chose, [...] la matière subtile ne se comprime que jusqu'à l'instant d'équilibre » qui ne survient que « lorsque les corps qui se sont choquez peuvent aller de compagnie », soit au moment de l'annulation de la vitesse respective car dans ce cas « le plus fort n'agi[t] plus sur le plus foible ». Ce mouvement commun conduit pour chacun des chocs à, respectivement, 4 et 3 degrés de vitesses : « $m24$ a comprimé $5m0$ avec la force $m20$, en devenant lui $m4$; et $5m0$, $5m4$. Mais $3m8$ quoiqu'égal en force à $m24$, n'a comprimé le même $5m0$, qu'avec la force $3m5$, en devenant lui, $3m3$; et $5m0$, $5m3$ » (*ibid.*, p. 139-141)² : « la compression de la matière subtile n'est donc point égale à la force primitive des corps avant le choc : mais elle est et doit être égale à celle qu'ils employent à se comprimer jusques à ce qu'ils puissent aller de compagnie, c'est-à-dire qu'elle est égale à celle qu'on retranche par la première opération qui les a supposez mous » (*ibid.*, p. 141). Ainsi, de manière générale, en considérant la collision des masses m_1 et m_2 avec les vitesses comptées algébriquement V_1 et V_2 , $\frac{m_1V_1+m_2V_2}{m_1+m_2}$ correspond à la vitesse d'ensemble d'après la première opération. $F_1 = m_1V_1 -$

1 Malebranche, OCM XVII-1, 1700-1712, p. 127-129.

2 Ainsi, avec $m24$ et $5m0$ la première opération de la règle de Mariotte donne une vitesse $4 \left(\frac{m24}{m+5m}\right)$ soit une « compression » $m24 - m4$ pour le corps m . Pour la deuxième opération, « distribuer réciproquement aux masses des corps leur vitesse respective » 24 revient à donner à m la vitesse $-20 \left(\frac{5m}{5m+m}\right)$ et 4 à $3m \left(\frac{m}{m+5m}\right)$. En combinant toutes ces vitesses il vient au final $-m20$ et $5m8$. *Ibid.*, p. 133.

$m_1 \cdot \frac{m_1 V_1 + m_2 V_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (V_1 - V_2)$ et $F_2 = m_2 V_2 - m_2 \cdot \frac{m_1 V_1 + m_2 V_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (V_2 - V_1)$
 représentent les forces de compression égales pour chaque corps. Ainsi, $V = \frac{F_1}{m_1} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot (V_1 - V_2)$ et $V' = \frac{F_2}{m_2} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot (V_2 - V_1)$ correspondent aux vitesses de
 rejaillissement des corps qui sont « réciproquement comme leurs masses » (*ibid.*, p. 133).

A partir de 1700, Malebranche évoque ce « principe certain » que « la réaction est égale à la résistance que trouve l'action, ou qu'un corps qui en choque un autre, souffre dans ses parties la même compression qu'il produit dans l'autre ». Ainsi, « la compression ne se faisant qu'à proportion que le corps le plus fort trouve de la résistance dans le plus foible, cette compression n'augmente que jusqu'à ce que le plus foible ait acquis une vitesse égale à celle du plus fort, parce qu'alors le plus foible ne lui résiste plus, ou n'empêche plus son mouvement » (*ibid.*, p. 143). En 1692, 1700 et 1712, Malebranche mentionne une compression mutuelle des corps qui, jusqu'en 1699, n'affecte que les mouvements en sens contraires ou bien tous les mouvements mais en ayant recours au milieu résistant. A partir de 1700, cette compression affecte tous les chocs sans impliquer explicitement le milieu. Il faut ajouter que d'après l'*Eclaircissement XVI*, dans lequel Malebranche expose sa conception finale de la matière subtile qu'il conçoit comme un assemblage de petits tourbillons, *Eclaircissement* qui repose sur un mémoire lu à l'Académie royale des sciences le 4 avril 1699, cette matière n'offre pas de résistance¹.

Malebranche paraît peu enclin à donner une nouvelle mouture de ses règles après avoir reconnu la conservation du mouvement de « même part » : « à l'égard des règles du mouvement, je vous prie [...] de me dispenser de les examiner. Je n'y ai déjà que que trop pensé, et je croi que mon temps seroit mal employé à cette sorte d'étude »². Pour autant, l'année 1699 est celle des nombreuses corrections du livre de 1692. Dès mars, Malebranche met « la dernière main » aux règles du mouvement³. Durant ce même mois, Leibniz envoie à Malebranche des critiques sur le livre de 1692 qui dénoncent, notamment, le recours à l'air et à la matière subtile pour expliquer une résistance⁴. Malgré tout, en juin et juillet 1699 (Sources B1 et B2), Malebranche fonde encore la résistance à une mise en mouvement sur l'action de milieux extérieurs : la rédaction de mars n'est donc pas définitive puisque le philosophe n'évoque plus de milieux dans l'édition de 1700 de son livre achevé d'imprimer le 29/11/1700⁵. Le texte de 1700 tient compte des corrections de 1699 « mais comporte d'autres rectifications survenues vraisemblablement en cours d'épreuves »⁶. En août 1699, Leibniz écrit au Marquis de l'Hôpital qu'il n'a toujours pas réponse de Malebranche à propos de ses remarques sur le traité de 1692 ; Malebranche envoie une lettre à Leibniz dans la seconde moitié de l'année 1699 à ce jour non retrouvée⁷. Les informations manquent donc sur le détail des réflexions de 1699 au sujet de la question de la résistance lors du choc.

1 Voir Partie II, Chapitre I pour cet *Eclaircissement XVI*.

2 Malebranche à Berrand, 23 décembre 1698, OCM, XIX p. 653. Cette lettre est reproduite par Robinet, *Malebranche et Leibniz, relations personnelles*, p. 343 avec des doutes concernant la date (« fin 1699 ? ») et sur le destinataire (« Leibniz ? »). Malebranche poursuit en précisant que « c'est la raison qui doit régler nos études, et la raison nous apprend qu'il faut s'appliquer à la recherche des vérités qui sont le plus nécessaires, soit pour rendre à Dieu ce que nous lui devons soit pour satisfaire aux devoirs de la société civile. Il n'y a gueres que la religion et la connaissance de nous memes qui doivent nous occuper ; car à peine avons-nous assez de temps ou assez de facilité à méditer ou à lire de ces choses pour nous instruire ».

3 Voir Le Thorel à Leibniz, 20 mars 1699, cité par Robinet, *Malebranche et Leibniz, relations personnelles*, p. 336 : « Le P. Malebranche a mis la dernière main à l'œuvre mathématique sur quoi il vous avait consulté. Ce sont de nouvelles règles du mouvement qui ne sont pas encore imprimées ».

4 Il s'agit de la Lettre de Leibniz à Malebranche du 13/23 mars 1699 (OCM XIX, p. 666-674) déjà mentionnée ci-dessus.

5 Malebranche, OCM I, « Introduction », p. xiv.

6 Malebranche, OCM XVII-1, « Introduction », p. 9.

7 Voir Robinet, *Malebranche et Leibniz*, p. 330-331.

Pour autant, et ce malgré les remarques de Leibniz à propos de l'inertie de la matière, rien ne suggère que Malebranche se rallie à l'idée d'une inertie. Qu'il s'agisse des règles des corps durs valables de 1692 à 1712 et examinées dans ce chapitre, du Chapitre IX du Livre VI portant sur la dureté, des lois de la nature énoncées dans divers traités dont quelques-unes ont été ici mentionnées, qu'il s'agisse aussi de l'*Eclaircissement XVI* que Malebranche introduit en réfutant le « faux-principe » de Descartes à savoir l'équivalence ontologique entre mouvement et repos et l'existence d'une force de repos, toutes ces sources confirment l'absence d'une force qui pourrait s'apparenter à une inertie dans la physique de Malebranche. C'est comme si le philosophe ne conservait de Mariotte que le recours à l'expérience et une méthode opératoire, sans aller au-delà dans la formulation du cadre dynamique nécessaire à son application. Par ailleurs, soulignons que l'étude des collisions élastiques repose sur deux étapes, la première consistant à considérer les corps à « ressort » comme des corps mous. Par conséquent, les réflexions de Malebranche de 1692 à 1712 concernant les chocs inélastiques s'appliquent ici : la perte de mouvement d'un mobile lors de son choc contre un corps au repos provient d'un mouvement de compagnie qui, en augmentant la masse, diminue nécessairement la vitesse du mobile incident. Autrement dit, ce changement de mouvement proviendrait d'une loi de conservation de la quantité de mouvement et de cette idée de proportionner la cause à son effet sans qu'il soit besoin de mentionner une résistance du corps « choqué »¹. Ce transfert reposerait alors sur un tout autre cadre théorique que celui de la mécanique classique, et Malebranche ne conceptualiserait pas l'inertie de la matière, que celle-ci provienne d'une force propre aux corps considérée comme une cause seconde ou qu'elle résulte d'une action divine immédiate équivalente pour le repos et le mouvement.

CONCLUSION

Chez Malebranche, le rejet de la force des corps au repos s'appuie sur des conceptions de la matière, incapable de force par elle-même, et de l'action divine. Le rejet de la force du repos semble une particularité de la physique malebranchiste ne trouvant pas son fondement dans l'occasionalisme mais dans cette vision d'une action divine conférant un supplément d'être au mouvement au détriment du repos. D'autres occasionalistes conservent l'équivalence ontologique entre le mouvement et le repos énoncée par Descartes. Ainsi, Louis de la Forge note que du fait de l'immutabilité divine

nous sommes assurez qu'il [Dieu] n'aneantira jamais les choses qu'il a une fois créées, & c'est par la connoissance que Monsieur Descartes en a eüe, qu'il a avancé dans ses principes, que Dieu conservoit par la mesme action, la mesme quantité de mouvement, & de matiere qu'il a produite la premiere fois ; C'est de cette unité, & de cette Immutabilité, que naist la force que chaque chose a de se maintenir dans l'estat où elle est, sçavoir celles qui se meuvent dans le mouvement, celles qui se reposent dans le repos, les choses separées dans leur séparation, & celles qui sont unies dans leur union, jusques à ce qu'elles en soient chassées par une autre plus forte².

-
- 1 Le chapitre suivant montrera que tel est le raisonnement de savants dont les travaux témoignent d'une lecture de Malebranche.
 - 2 Louis de La Forge, *Traité de l'esprit de l'homme*, dans *Œuvres philosophiques de La Forge*, éd. Pierre Clair, Paris, PUF, 1974, p. 141-142. Nous évoquerons dans le chapitre qui suit d'autres occasionalistes qui soutiennent l'existence de cette force. L'œuvre de Cordemoy ne témoigne pas d'un rejet explicite de la force du repos. Une des raisons du refus de l'occasionaliste d'admettre la matière comme une substance étendue – Cordemoy conçoit la matière comme un assemblage de « corps », c'est-à-dire d'atomes – semble concerner cette force de repos. Puisque selon les « cartésiens » un corps *A* est divisible – contrairement à l'opinion de Cordemoy pour lequel seul l'assemblage de corps l'est – les mouvements divers des autres corps ou son propre mouvement causeront à ce corps *A* des changements continus : « il ne sera pas un instant sous la même figure, ni sous la même grandeur [...] Ainsi cette opinion [la matière comme substance étendue], qui n'est pas claire, quand on la propose, ne peut servir de rien dans en Physique, quand on la suppose, puisqu'elle ne peut expliquer ni le repos, ni le mouvement des corps, dont on sçait que dépend toute la Physique », voir *Six Discours*, p. 99-100. On trouverait ici un rejet de la force de repos provenant d'un refus opposé à la

La Forge reconduit ainsi des éléments des articles 36, 37 et 43 de la seconde partie des *Principes* de Descartes.

Cette réforme de Descartes existe dans la *Théorie du mouvement abstrait* de Leibniz¹ ou encore à travers cette conception d'une matière « indifférente » rencontrée chez Pardies qui ne fait pas de la masse un élément dynamique. Bien que l'éviction de la force de repos chez Malebranche puisse ne pas être étrangère à la lecture de la *Théorie* de Leibniz, malgré tout le rejet malebranchiste s'invite dans le système du monde et ne porte pas sur une théorie abstraite, et il conduit le philosophe à des explications scientifiques palliant une absence d'inertie, en l'occurrence à rendre compte d'effets expérimentaux du choc en s'appuyant sur le milieu (air, matière subtile). Par ailleurs, si Leibniz conceptualise par la suite une force d'inertie, tel ne semble pas être le cas chez Malebranche². L'« indifférence » de la matière ne conduit pas Malebranche à proposer pour le choc une simple composition de vitesses, à l'instar de Pardies, mais si un mobile perd de son mouvement en en percutant un autre, cela ne signifie pas pour autant que le philosophe accorde à la matière au repos une action³.

Les analyses de Malebranche vont au-delà d'une simple correction apportée à une « erreur » de Descartes et, en affectant l'équivalence ontologique posée dans les *Principes*, elles formulent de nouvelles lois de la nature régies par la seule « force mouvante ». Par ailleurs, comme nous le montrerons dans le Chapitre I de la Partie II, cette réforme s'avère suffisamment importante pour constituer une des raisons de la révision du système du monde de Descartes qui, pour Malebranche, est appuyé sur ce « faux-principe » que le repos a de la force. Sans force, la matière apparaît « infiniment molle », ses parties pouvant se séparer aisément au moindre mouvement au point que des mobiles puissent transpercer un corps au repos. La pression de la matière subtile devant rendre compte de la dureté d'un corps, demeure ouverte la question de savoir comment s'exercerait une pression sur une matière infiniment malléable ; question affectant aussi la compréhension du mécanisme de compression des corps lors de leur choc, la matière subtile à l'origine de l'élasticité se voyant comprimée et offrant une résistance, autrement dit agissant contre les parois internes des corps⁴.

L'examen des règles du choc de corps durs montre que « la grandeur du choc » n'affecte que le corps dit le « plus foible », ce type de collision ne conduisant pas à penser le caractère mutuel de la percussion : « le plus fort » ne peut recevoir « aucune force ou aucun effet du choc » car, avant tout, « la force des corps, ou l'effet de leur choc ne peut être que du

théorie de l'union selon Descartes, à moins qu'il ne s'agisse que d'un refus de l'explication de la cohésion par cette force cartésienne, sans pour autant rejeter l'idée de cette force ; le contenu de ce texte ne permet pas de conclure.

- 1 Chez Leibniz et chez Hobbes dont le premier se montre un lecteur attentif, voir François Duchesneau, *La dynamique de Leibniz*, Paris, Vrin, 1994, p. 24-29 et p. 41-48. Duchesneau remarque que « dans une analyse anti-cartésienne, dont Leibniz va prendre acte, Hobbes récuse l'opposition du mouvement et du repos, qui ne forment des contraires qu'en tant que termes abstraits ; l'opposition réelle dans la représentation des causes ne peut consister que dans les mouvements contraires. Rien n'indique toutefois comment on peut concilier cette conception avec la notion de force suivant le modèle $m|v|$, où la masse apparaît comme facteur d'intégration de la résistance au mouvement contraire. Lorsque Hobbes reprend sa doctrine de la force dans le *De corpore*, III, XV, §1, il modifie sa définition en semblant faire abstraction du facteur de masse. Mais il rétablit immédiatement un rapport de la *quantitas motionibus* à la grandeur relative des corps dotés de même vitesse. En fait, Hobbes a tendance à situer l'élément dynamique dans la vitesse de la partie minimale de matière et à assumer une sommation de ces parties à la façon des intégrations artificielles de Cavalieri. Cette thèse est confirmée lorsque Hobbes déclare : « Le changement est donc mouvement (savoir des parties de l'agent ou du patient) : ce qu'il fallait démontrer. Il s'ensuit que le repos ne peut être cause de quoi que ce soit, pour autant qu'il ne peut causer aucun mouvement ni aucun changement ». La théorie leibnizienne du conatus fera aussi abstraction du facteur résistance constitué par la masse », voir p. 45.
- 2 Sur la lecture de Malebranche de la *Théorie du mouvement abstrait*, voir Robinet, *Malebranche et Leibniz*, p. 28-29 et p. 67-68.
- 3 Pour certains savants, l'indifférence de la matière conduit à une simple composition de vitesses mais ça n'est pas le cas de tous ; nous développerons cette question dans le chapitre suivant.
- 4 Cette explication de la cohésion des corps et cette « matière molle » feront l'objet de critiques ; voir le chapitre suivant et dans la Partie II, les Chapitres III et V.

mouvement, ou du transport actuel »¹. Deux mouvements de sens contraires peuvent coexister au sein des corps dits « à ressorts » et le choc peut conduire à une compression mutuelle. Pour autant, puisque le repos n'a pas de force, le corps immobile ne réagit pas. La perte de mouvement pour des corps durs s'entend par le fait que l'effet doit être proportionné à sa cause ; le plus « fort » agit en communiquant de son mouvement selon un principe de conservation de la quantité de mouvement. Ce même schéma explicatif s'applique aux « secondes lois » de 1692 à 1699 où l'absence de force de repos est synonyme d'absence de compression, les règles des corps parfaitement durs valant alors pour les chocs élastiques. La compression pour les chocs de corps « à ressorts » dans le système du monde résulte de mobiles aux mouvements incidents contraires ou bien des milieux – la matière subtile, l'air – qui participent alors à l'élaboration des lois. La version définitive des règles de 1700 et 1712 n'attribue pas explicitement de rôle à ces milieux – la matière subtile sous la forme de petits tourbillons à partir de 1699 n'offre aucune résistance – alors même que le cadre théorique – l'absence de force de repos – demeure identique. A l'instar de l'explication de la cohésion par une pression qui finalement présuppose la dureté sous peine que l'action de la matière subtile sur la matière molle soit impensable, les règles à partir de 1700 présupposeraient d'une certaine manière l'inertie. Du moins, il semblerait que dans les deux étapes prescrites par la règle de Mariotte, la première opération qui invite à considérer les corps « mous » repose sur le même cadre théorique que celui évoqué ci-dessus pour les corps durs : le choc des corps « mous » conduit à un mouvement commun et, par conséquent, à une perte de mouvement du mobile dit le plus « fort », mais cette perte tient à la nécessité de proportionner une cause à son effet et respecte un principe de conservation de la quantité de mouvement ; ces éléments fourniraient à Malebranche un cadre théorique suffisant sans qu'il soit besoin d'évoquer une inertie.

Pour Malebranche, le concept de force des corps au repos est superflu ; il revient à multiplier les principes ce qui constitue une erreur de méthode. Le repos comme privation implique une absence de propriétés et exclu la possibilité qu'il entre alors dans un processus explicatif physique. La quantité de matière du corps immobile intervient chez Malebranche mais uniquement connectée au système du monde et à travers sa texture, sa surface, sa figure comme une entité offrant prise au milieu. S'il faut voir dans la force des corps au repos de Descartes un antécédent à la force d'inertie, la réforme de Malebranche a un impact sur les fondements de la mécanique : Malebranche ne fait pas de la résistance liée à la mise en mouvement d'un corps un élément essentiel à la mécanique et, en ce sens, ses analyses n'offrent pas la possibilité de conceptualiser un objet qui s'apparenterait à la force d'inertie. Les réflexions malebranchistes autour du repos ne sont pas circonscrites à l'œuvre du philosophe ; le chapitre suivant en examine le devenir au XVIII^e siècle.

1 Malebranche, OCM XVII-1, 1712, p. 87.

Chapitre III

FORCE DE REPOS ET OCCASIONALISME : QUELQUES FORMES PRISES PAR LE MALEBRANCHISME AU XVIII^e SIECLE

INTRODUCTION

Ce chapitre montre que la question de l'existence de la force des corps au repos constitue une problématique de la mécanique du premier XVIII^e siècle qu'il est possible de rattacher à l'œuvre de Malebranche et, qu'à cette même période, « l'occasionalisme physique » s'avère répandu dans de nombreux travaux scientifiques. Il montre, par ailleurs, l'importance des réflexions développées autour de la force de repos et de l'occasionalisme dans une conception nomologique de la causalité.

Nous remarquerons que des savants reconduisent les positions de Malebranche vis-à-vis de la force des corps en repos et qu'ils confèrent au seul mouvement la possibilité d'une action, ceci dans des contextes de réflexions sur la nature du mouvement et du repos, sur le choc et sur l'origine de la dureté qui prennent pour point de départ le Chapitre IX du Livre VI de *De la recherche de la vérité*. L'interrogation posée par Malebranche sur cette force paraît conduire à une absence de conceptualisation de la force d'inertie et est un élément sur lequel se fonde une critique explicite de la pertinence de sa conceptualisation. En ce sens, les analyses de Malebranche participent voire sont à l'origine de positions critiques sur les fondements de la mécanique. Les effets attribuables à l'inertie sont alors conçus selon un tout autre cadre théorique. En l'occurrence, le schéma de l'*actio-passio*, plus que celui de l'action-réaction, semble structurer la pensée de l'interaction physique, et un mobile perd de son mouvement lors d'un choc contre un corps au repos sans pour autant qu'il existe une réaction ou une inertie de la matière immobile. Nous évoquerons, par ailleurs, l'existence de nombreuses critiques à l'encontre de la physique de Malebranche qui établissent un lien direct entre son rejet de la force de repos et l'absence de conceptualisation de la force d'inertie.

Nous montrerons aussi que, adoptée, discutée ou critiquée, la théorie des causes occasionnelles est répandue dans le paysage savant français de l'époque. Mais, comme nous le suggérons en évoquant le cas de Louis de la Forge¹, il convient de distinguer l'occasionalisme de la remise en cause de cette force de repos. Ainsi, des savants qui remettent en cause le rejet de cette force par Malebranche et qui visent alors à poser une équivalence ontologique entre mouvement et repos, adhèrent cependant à la doctrine des causes occasionnelles ; *a contrario*, d'autres remettent en cause cette doctrine tout en concevant que le mouvement, et lui seul, est à l'origine d'une action.

La postérité de Malebranche touchant la question de la causalité ne relève donc pas seulement de l'occasionalisme mais aussi de l'argumentation autour de la force de repos. Malgré tout, au-delà de cette spécificité malebranchiste touchant au repos, la force d'inertie, en tant que force, fait aussi l'objet d'une réflexion initiée par l'occasionalisme en tant que ce dernier questionne la concevabilité de l'action en général. Aussi, les deux voies distinctes que nous suivons, dans ce chapitre, entre d'un côté la critique de la force de repos et, de l'autre, l'occasionalisme, se rejoignent dans leurs conséquences. En effet, l'« inertie » et la « réaction » de la matière n'apparaissent pour certains savants que comme des dénominations « commodes », des « mots », ou encore des entités abstraites qui à l'instar des signes des algébristes servent à mener un calcul ; ces « mots » abrègent un discours sans qu'il faille leur attribuer une existence particulière. Pour d'autres, l'occasionalisme vient interroger la concevabilité de la « force » et, notamment, la force d'inertie. Pour eux, une fois reconnue la

1 Voir Partie I, Chapitre II.

nécessité de conceptualiser cette force, son action repose sur une loi primitive divine établissant une équivalence entre repos et mouvement. Dans ce cas, à nouveau, la « force » ne renvoie qu'à un mot, à un effet constaté. Par ailleurs, nous constaterons que l'occasionalisme entraîne aussi une remise en cause de fondements de la dynamique largement répandus, notamment l'« axiome » de proportionnalité des effets à leurs causes, axiome dont il faut douter du fait de l'inconcevabilité de la cause, un doute qui invite alors à ne concevoir la mécanique que comme une science des effets mesurés et des lois qui les régissent. Ces différents éléments, rattachables au *corpus* malebranchiste, préfigurent l'épistémologie critique de la causalité de D'Alembert qui dénonce une mécanique causale fondées sur concepts et principes qu'il juge obscurs. En somme, les réflexions menées autour de la force de repos et l'occasionalisme participent alors à un autre type de réception critique de la force – le premier étant la remise en cause de l'inertie – avec pour conséquences une conception nomologique de la causalité¹.

Ce chapitre comprend deux parties. La première examine des travaux dans lesquels seul le mouvement est à l'origine d'une action, travaux caractérisables par une absence de conceptualisation de l'inertie. Nous y joignons des textes plus spécifiquement liés à l'occasionalisme en montrant la diversité, dans le cadre de cette doctrine, des prises de position sur l'existence de la force de repos et, plus généralement, pour témoigner de la diffusion de la doctrine. Le corpus examiné rassemble notamment les volumes des *Mémoires de l'Académie royale des sciences* de 1666 jusqu'à 1699, ceux d'*Histoire* de la première moitié du XVIII^e siècle, des traités de membres de l'Académie royale des sciences de Paris, des mémoires ayant concourus à des prix académiques proposés par l'institution parisienne et par l'Académie Royale des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Bordeaux. La deuxième partie rend tout d'abord compte de l'existence d'un ensemble de critiques dénonçant l'absence de force d'inertie chez Malebranche. Elle questionne ensuite l'éventuel lien entre les conséquences du refus de la force de repos et celles de l'occasionalisme avec la mécanique de D'Alembert.

FORCE DE REPOS, OCCASIONALISME ET INERTIE

DURETE ET CHOC DES CORPS

Parent, la critique des *Principes* de Descartes et l'occasionalisme

L'académicien des sciences Antoine Parent publie en 1713 des *Essais et recherches de mathématique et de physique* contenant, notamment, un examen critique d'articles de la seconde partie des *Principes* de Descartes. A propos de l'article 26 de cette partie, Parent remarque que

de ce que nous employons de la force, aussi-bien pour arrêter des corps en mouvement que pour les mouvoir quand ils sont au repos, on peut seulement conclure que le mouvement demande de la force aussi-bien pour être arrêté que pour être produit ; & on peut seulement inferer delà, que le mouvement est une force qui ne peut être détruite que par une force du moins égale. Mais le repos n'étant que la négation du mouvement, & le mouvement n'étant qu'un changement de lieu ou de situation, il est évident que le repos n'est autre chose qu'une subsistence ou stabilité dans un même état de lieu ou de situation. C'est pourquoi si le repos d'un corps luy donnoit quelque force, il s'ensuivroit que la simple permanence d'un corps dans son lieu, ou dans sa situation, luy donneroit de la force & de la détermination. Mais les corps

¹ Dans ce chapitre, la question de la postérité de Malebranche ne se voit abordée qu'à travers ces thèmes de la force du corps au repos et de l'occasionalisme. Un grand nombre d'auteurs ici évoqués apparaissent dans la seconde partie de cette étude (Privat de Molières, Mazière, Lozeran du Fesc, Dortous de Mairan etc.) car ils reconduisent la théorie des petits tourbillons de Malebranche. Les affirmations concernant certains savants selon lesquelles le rejet de la force cartésienne du corps au repos s'inspire de Malebranche requièrent alors pour compléments de lecture l'examen de cette seconde partie, étant donné que ce rejet est aussi lié à la théorie des petits tourbillons.

environnants étant quelque chose de purement accidentel à l'égard du corps environné, on ne sauroit penser que leur absence ou leur présence produise une nouvelle nature dans le corps environné : donc cette force qu'il auroit, luy seroit naturelle : donc un corps auroit de luy-même la force d'affecter un lieu plutôt qu'un autre : donc enfin un corps ne seroit pas un estre purement indéterminé, comme tout le monde en convient, & l'auteur même¹.

En somme, la « force » nécessaire au changement d'état correspond à celle pour obtenir ou cesser un mouvement sans qu'il faille attacher une attention particulière au repos. Ce dernier ne « donne » pas une force au corps puisque le repos se définit par rapport à des « corps environnants » dont la présence, « purement accidentelle », n'affecte pas la matière dans sa « nature » ; reconnaître que cette force soit « naturelle » revient alors à admettre que la matière puisse « affecter » par elle-même un lieu. La critique de l'article 43 de la partie II des *Principes* complète le raisonnement en rejetant l'équivalence entre repos et mouvement :

on peut tirer [...] une conséquence toute contraire à l'intention de l'auteur, à l'égard du principe qu'il avance, que chaque chose persiste, c'est-à-dire, selon luy, fait effort, autant qu'elle peut, à demeurer dans l'état où elle est. Car chaque chose n'ayant par elle-même (excepté l'Auteur de toutes choses) aucun pouvoir à demeurer, ou à ne pas demeurer dans aucun état ; il s'ensuit tout juste le contraire de ce qu'il prétend, savoir une disposition parfaite à un changement continuel d'états. A l'égard de la comparaison qu'il fait du mouvement avec le repos ; il est tres-aisé de la détruire, puisqu'il ne faut aucune nouvelle action du côté de l'Auteur de la nature pour conserver un corps seul au milieu de plusieurs autres en repos ; & qu'il faut au contraire une différente de la création pour le faire changer continuellement de lieu, de situation, de figure. Or c'est cette nouvelle détermination de l'Auteur de la nature qui fait toute la force du mouvement qui est dans la nature. Donc le mouvement renferme de la force, & le repos une indifférence parfaite².

Ainsi, « par elle-même », la matière est indifférente à prendre l'un ou l'autre état et elle a « une disposition parfaite » à en changer ; le corps au repos est dans « une indifférence parfaite ». Et s'il ne faut aucune autre action de la part du Créateur pour conserver un corps immobile que celle de l'avoir créé, *a contrario*, le mouvement reçoit un supplément d'être et requiert une action nouvelle³. Bien que Malebranche ne soit pas ici explicitement mentionné, nous reconnaissons là une thèse avancée par l'oratorien⁴. Parent évoque ici le « principe » de persistance de Descartes et l'action des corps qui font « effort » en vertu de ce principe : autrement dit, si comme le conçoit Parent une « chose » ne développe pas un « effort » pour agir, elle ne développe pas davantage de résistance au changement. Concernant les articles 54 et 55 des *Principes* relatifs à la dureté des corps, Parent évoque le caractère privatif du repos finalement assimilable à un néant :

ce n'est jamais par le repos que l'on résiste au mouvement, mais par un mouvement contraire ; le repos ne disant rien de nouveau dans le corps outre son existence, son lieu & sa situation, & n'étant opposé au mouvement, que comme la privation l'est à l'existence⁵.

Selon Parent, Dieu forme « toutes les impressions ou perception » de l'âme, « ensorte que tout autre agent n'en peut être tout au plus que l'occasion, savoir en tant que notre Auteur s'est assujéti par sa propre volonté, & pour des raisons qu'il s'est réservées, de former dans

1 Antoine Parent, *Essais et recherches de mathématique et de physique. Nouvelle Edition augmentée d'un troisième volume, & d'un tiers au moins en chacun des deux premiers*, Paris, Jean Nully, 1713, tome I, p. 36-38. La publication initiale s'intitule *Recherches de Mathématiques et de Physique*, Paris, Jean Jombert et Florentin Delaulne, 1705, 2 tomes. Pour l'article 26, voir Partie I, Chapitre I.

2 Parent, *Essais et recherches*, t. I, p. 53-54.

3 Parent ne commente pas l'article 37 des *Principes* où les conservations des états de mouvement et de repos reposent sur l'immutabilité de l'action divine.

4 Malebranche RDV, VI, II, IX, p. 427-429. Voir Partie I, Chapitre II.

5 Parent, *Essais et recherches*, t. I, p. 69.

nôtre ame de telles dispositions dans certaines conjonctures »¹. Par ailleurs, il remarque que « l'idée du corps ne consiste point absolument dans l'étenduë, ny dans les figures ; mais [...] l'idée d'étenduë continuë ne renferme autre chose qu'une multitude innombrable de parties semblables, c'est à dire de petits corps assemblez & conjoints ; & [...] en un mot celle des figures ne renferme que l'arrangement de ces corpuscules »² ; il estime ces corpuscules « indivisibles »³ et évoque « la multitude des atômes » formant la « grandeur » d'un corps⁴. Enfin, de tels corps existent dans un espace vide⁵. L'occasionalisme revendiqué par Parent et cet atomisme ne sont pas sans évoquer Cordemoy⁶. Mais la distinction opérée entre repos et mouvement, le premier entendu comme « privation », et cette substitution du couple mouvement-repos par le couple mouvement-mouvement rapprochent aussi son propos de celui de Malebranche.

L'origine de la dureté : Varignon, Saulmon, Mazière et Privat de Molières

Pierre Varignon rapporte la thèse de Descartes concernant l'origine de la dureté, à savoir qu'« il y a dans le repos une force aussi réelle pour s'opposer au mouvement, que celle qui est dans le mouvement pour s'opposer au repos »⁷. Il souligne que, d'après la règle 4 des *Principes* de Descartes, cette force peut être suffisamment grande pour empêcher qu'un corps au repos soit mû, et que « la dureté d'un corps ne vient peut-être que de cette force que le repos où ses parties sont les unes auprès des autres, leur donne pour résister à tout ce qui les tendroit à les séparer ». Mais il évoque aussi cette opinion selon laquelle « il n'y a dans le repos aucune force pour résister au mouvement » et que la dureté d'un corps résulte de sa compression par une matière subtile (*ibid.*) Varignon ne se résout à aucune de ces deux thèses. En effet,

M. Varignon convient avec ceux qui tiennent la seconde opinion, que le repos n'a aucune force pour résister au mouvement : & la raison qu'il en donne, est que toute force est capable de *plus* & de *moins*, & que le repos n'en est point capable. Mais il ne demeure pas d'accord que la dureté des corps vienne d'aucune compression de la matière subtile qui les environne. Car pour produire cet effet, il lui paroît qu'il faudroit que les parties de ces corps & de la matière subtile fussent déjà dures ; ce qui suppose la question (*ibid.*, p. 71-72).

Varignon reconduit ici un argument rencontré chez Malebranche, à savoir que, contrairement au mouvement, le repos n'est pas « capable de *plus* & de *moins* », mais il récuse l'usage de l'action de la matière subtile dans l'explication de la cohésion⁸. Suivant Varignon, « quoique le repos n'ait aucune force pour résister au mouvement, néanmoins il faut toujours quelque force pour produire du mouvement ; & [...] il en faut d'autant plus, qu'on veut en produire davantage » (*ibid.*, p. 72). En somme, l'effet doit être proportionné à sa cause et donner du mouvement – séparer les parties d'un corps dits durs – requiert toujours une production de l'agent : ce raisonnement sous-tend celui de Parent et est explicite chez

1 *Ibid.*, p. 2-3. Parent, *Recherches de Mathématiques*, p. 128-131, p. 136-139 contient des développements occasionnalistes concernant l'interaction corps-âme.

2 Parent, *Essais et recherches*, t. I, p. 9.

3 *Ibid.*, p. 10.

4 *Ibid.*, p. 10-12. Voir aussi Parent, *Recherches de Mathématiques*, p. 141-142 : les corps sensibles consistent en « un assemblage d'autres corps qui n'ont plus aucune composition, mais seulement la figure & la dureté infinie ».

5 Parent, *Essais et recherches*, t. I, p. 41 et p. 63 notamment.

6 Parent suit les cours de l'académicien des sciences Joseph Sauveur au Collège Royal à partir de 1686 qui connaît Cordemoy. Voir Fontenelle, *Eloge de M. Sauveur et Eloge de M. Parent*, HARS 1716 (1718), p. 80 et p. 89.

7 Varignon, *Conjectures sur la dureté des corps*, MARS 1666-1699 (1730), t. X, p. 71.

8 Pour Malebranche, voir Partie I, Chapitre II.

Malebranche¹. La résistance ressentie à la rupture des parties d'un corps provient de « la difficulté de produire tout ce qu'il faut de mouvement pour cela ». Puisque tout est plein, la séparation des parties du corps nécessite que d'autres « s'ajustent promptement » aux ouvertures faites entre elles. Les parties de ce milieu extérieur qui se meut se séparent d'autres, la place qu'elles laissent libre devant être à nouveau comblée et il faut que cela se fasse « de tous côtes aux environs de ce corps, jusqu'à ce que l'ouverture qui se fait entre celles de ces parties qu'on divise, soit proportionnée à la grandeur des corps dont il est environné ». Varignon écrit que « pour diviser un corps il en faut toujours diviser plusieurs autres, & donner à leurs parties des mouvemens si prompts & si subits, qu'elles viennent tout d'un coup se jeter dans les ouvertures qu'elles doivent occuper ; ce qui demande d'autant plus de force, qu'il en faut diviser davantage en même temps, & qu'il faut leur donner un mouvement plus subit »². Dans ces conditions, « puisque la dureté des corps ne consiste que dans ce qu'il faut surmonter pour les fendre, pour les casser, ou pour les rompre ; c'est une conséquence nécessaire *qu'elle peut bien ne consister aussi que dans la difficulté de faire tant de divisions à la fois, c'est-à-dire, dans la difficulté de mettre tout d'un coup tant de matiere en mouvement, & de lui donner un mouvement si subit* » (*ibid.*, p. 72-73). Un corps est d'autant plus dur qu'il faut pour le rompre diviser dans un même temps plus de matière environnante, c'est-à-dire mettre en mouvement une certaine quantité de cette matière. *A contrario*, dans le vide, « on n'aura que le corps à diviser » et, en l'absence de milieu, il paraîtra alors « très-mol » (*ibid.*, p. 73).

L'académicien Saulmon développe aussi des réflexions sur la dureté en discutant les explications données par Descartes et par Malebranche. Il commence par rejeter la thèse atomiste par un raisonnement précisément identique à celui de Malebranche :

si je consulte les sens pour [...] apprendre la cause de la Dureté, ils m'annoncent que les Corps visibles sont composez de plusieurs petites parties, les unes crochuës, d'autres branchuës, et d'autres de figures diverses, que les crochuës ou branchuës étant entrelassées sont capables de former les Liens qui retiennent les autres et font la force de leur union. Mais si je consulte l'esprit, je trouve que ces Liens ont eux-mêmes d'autres parties, il faudroit donc que celles-cy eussent encore d'autres Liens, ainsi de suite à l'infini, ce qui est impossible, a cause que les plus petites parties ou dernieres sont solides³.

Il rejette aussi la thèse de Descartes (« un certain Philosophe ») rendant compte de la dureté d'un corps par le repos mutuel de ses parties par un argument rencontré chez Malebranche et chez Varignon : « comme si la cessation du mouvement qui fait le repos étoit une force, et qu'elle eût en elle même divers degrez de force ; Mais parceque je ne veux rien croire que je sache, je quitte volontiers cette opinion pour chercher quelque chose de plus exacte » (*ibid.*, fol. 282r). Saulmon remarque aussi que pour certains « la matiere primitive n'a point de force par elle-même », qu'elle cède donc « aisément au toucher » comme les corps « les plus fluides ou les plus mous perceptibles, sans la moindre resistance » ; elle est aussi « infiniment molle par elle-même » et n'acquiert une dureté que par la pression d'une « matiere invisible extremement agitée [qui] les [corps] environne ou les penetre », une matière qui « pousse avec beaucoup de violence les parties interieures et exterieures, de sorte

1 Remarquons que l'énoncé d'une proportionnalité de l'effet à sa cause est le premier « axiome » de la mécanique de Varignon. Voir Varignon, *Nouvelle Mécanique ou Statique, dont le projet fut donné en M.DC.LXXXVII*, Paris, C. Jombert, 1725, t. I, p. 4 : « les effets sont proportionnels à leurs causes ou forces productrices, puisqu'elles n'en sont les causes qu'autant qu'ils en sont les effets, & seulement en raison de ce qu'elles y causent ». Bien que non présent explicitement dans Varignon, *Projet d'une Nouvelle Mécanique, avec un Examen de l'opinion de M. Borelli sur les propriétés des poids suspendus par des cordes*, Paris, Veuve Edme Martin, Jean Bonnot, Etienne Martin, 1687, cet « axiome » y trouvant cependant place, voir Schmit, « Rapports entre équilibre et dynamique au tournant des 17^e et 18^e siècles », p. 505-548.

2 Varignon, *Conjectures sur la dureté des corps*, p. 72.

3 Saulmon, *De la dureté des corps*, dans *Procès-verbaux de l'Académie royale des sciences*, t. 40, 1721, fol. 281v.-282r. Pour le raisonnement de Malebranche, voir Partie I, Chapitre II.

que pour les separer il faut avoir plus de force que n'en a cete matiere invisible » (*ibid.*, fol. 282r-282v). Mais cette « preuve toute magnifique » ne recueille pas les suffrages du savant¹.

La cause de la dureté est aussi celle du « ressort » des corps lequel peut notamment s'expliquer par les forces centrifuges d'une infinité de petits tourbillons selon la thèse de Malebranche, lequel n'est pas explicitement mentionné². Mais cette hypothèse conduit au problème de concevoir qu'une « matiere primitive » infiniment molle puisse supporter un effort qui expliquerait la cohésion : les « efforts ou pressions de petits tourbillons, dont l'équilibre ne feroit qu'entretenir ou même augmenter par de petits chocs continuels la mollesse des Corps si la matiere primitive étoit d'elle même infiniment molle » (*ibid.*, fol. 284v). Saulmon évoque alors ce « paradoxe inconcevable » d'une matière « infiniment molle » qui, outre la dureté des corps, ne permet pas davantage d'expliquer la formation des tourbillons (*ibid.*, fol. 284v-285r)³. Il élabore alors une explication de la dureté sans recourir à cette « mollesse » et sans faire usage de pressions. Cependant, plutôt que de chercher les « causes physiques » de l'union des parties, Saulmon donne des propriétés cinématiques qui n'en sont que la conséquence ce qui revient au fond à postuler une dureté en soi⁴. Saulmon suit manifestement des éléments figurant dans *De la recherche de la vérité* – une critique de la thèse de Descartes, l'absence de « degrés » de force pour le repos simple « cessation » du mouvement, une critique de l'atomisme en des termes proches de ceux de Malebranche, l'évocation d'une matière sans force et « infiniment molle », l'usage des petits tourbillons – tout en rejetant l'explication de la cohésion de la matière donnée par Malebranche.

Pour sa part, Jean Simon Mazière, qui remporte le prix de l'Académie royale des sciences en 1726 avec un mémoire portant sur les règles de chocs de corps élastiques, écrit que « la cause physique que nous cherchons [afin d'expliquer l'élasticité], est un corps, & un corps en mouvement, car le repos n'a pas de force »⁵. Ce « corps » correspond à la matière subtile composé d'une « infinité de petits tourbillons », l'auteur s'appuyant sur « *le Père Malebranche dans la recherche de la verité Eclaircissement XVI* » pour soutenir cette thèse⁶. Un traité complémentaire, se référant lui aussi de nombreuses fois à Malebranche, précise que « les corps n'ont de force qu'autant qu'ils ont de mouvement. Le repos n'a pas de force. Dans l'ordre de la Nature, un corps est mû par un autre corps : par un corps qui le touche immédiatement : par un corps qui a du mouvement ou de la force »⁷. Pour une critique de

1 Suivant ce principe, plus l'« agitation » de la matière fluide est grande plus le corps pressé est dur. L'air à la surface de l'eau est plus agité en été qu'en hiver donc celle-ci devrait geler au moment les plus chauds ; de même les métaux chauffés, qui sont « environnez d'une matiere beaucoup plus agitée », devraient se raffermir. Enfin, « si la matiere de ces petites parties [des corps] étoit d'elle même molle, elle devrait s'amollir encore de plus en plus par la violence des coups de la matiere invisible environnante qui luy est étrangere, et la frape continuellement soit en dehors soit en dedans ». *Ibid.*, fol. 283r. et 283v.

2 Pour cette explication chez Malebranche, voir Partie II, Chapitre II.

3 Ainsi, un corps dur heurtant une telle matière, « les directions des impressions qu'elles [les parties de cette matière] recevront du Corps choquant seront des lignes droites, déterminées par celle du Corps choquant, mais elles ne seront pas très certainement des Lignes Courbes circulaires ou annulaires ou autres semblables, telles que sont celles des fluides ou des Corps mous », *ibid.* Autrement dit, cette matière « molle » ne peut pas former de petits tourbillons.

4 Il recherche la cause de « l'union des parties » d'une « Boule de Mail » sans pores, parfaitement pleine, lorsqu'elle se meut. Il suppose un cône solide frappé à son sommet : les parties constituant l'axe tendent à se mouvoir suivant cette droite, les autres obliquement ; il en est de même pour la boule frappée suivant un de ses diamètres/axes et on peut décomposer les impressions obliques suivant des composantes parallèles à ce diamètre et suivant des composantes perpendiculaires. De part et d'autre de l'axe les efforts égaux et opposés se « contrebalancent » et ne permettent pas aux parties de matière de se séparer. *Ibid.*, fol. 285v. à fol. 286v. Suivant l'axe, et parallèlement à celui-ci, les « filets de matiere » sont animés d'une vitesse commune et donc ne se séparent pas. *Ibid.*, fol. 286v.-fol. 288r.

5 Mazière, *Les loix du choc des corps à ressort parfait ou imparfait, déduites d'une explication probable de la cause physique du ressort*, dans *Recueil des pieces qui ont remporté le prix de l'Academie Royale des Sciences depuis leur fondation jusqu'à present. Tome premier. Qui contient les Pieces depuis 1720 jusqu'en 1727*, Paris, C. Jombert, 1732, p. 8.

6 *Ibid.*, p. 17. Les Chapitres II et III de la Partie II du présent livre reviennent sur la référence que constitue Malebranche pour Mazière.

7 Mazière, *Traité des petits Tourbillons de la matiere subtile. Où l'on fait voir par les seuls effets du choc, que l'Univers est rempli d'une matiere très-fluide, très-agitée, & composée d'une infinité de Tourbillons de figure spherique, qui*

l'explication de la dureté basée sur l'existence d'atomes Mazière renvoie directement le lecteur au « Liv. VI. De la Methode, Ch. IX. » de *De la recherche de la vérité*¹. De la même manière, pour l'académicien des sciences Joseph Privat de Molières, « un corps au repos continue de lui-même de demeurer en repos, & n'apporte aucune résistance positive au mouvement »² et « la matiere n'a de force que celle que le mouvement peut lui procurer »³. Introduire, comme le fait Descartes, une force pour demeurer au repos revient à « multiplier les principes, introduire dans l'univers deux especes de forces [une due au mouvement l'autre au repos] indépendantes l'une de l'autre, & attribuer l'effet du ressort [l'élasticité des corps] à une cause arbitraire »⁴. Molières oppose alors au « je ne sçai quoi » – cette dernière expression figurant chez Malebranche⁵ – tels que le « simple repos », une « vertu d'adhésion » ou une « forme abstraite » qui chez certains savants explique la dureté des corps la recherche d'une « cause mécanique »⁶. En l'occurrence, pour Molières, la cohésion de la matière s'explique par la pression des petits tourbillons de la matière subtile à l'instar de Malebranche ; de fait, Molières développe de nombreuses critiques à l'encontre de Descartes dans le droit fil de la réforme des *Principes* initiée par Malebranche⁷.

FORCE DE REPOS ET OCCASIONALISME

Des travaux du philosophe et théologien François Lamy et de Louis Antoine Lozeran du Fesc, membre associé de l'Académie des beaux-arts de Lyon, relèvent tous les deux d'un occasionalisme physique qui se manifeste ici à travers des réflexions sur l'état de repos. La lecture de Lamy montre aussi que le rejet de la force de repos n'est pas nécessairement lié à l'occasionalisme.

Lamy : lecture critique de Malebranche et occasionalisme

Lamy, dans ses *Lettres philosophiques sur divers sujets importants*, soutient que chaque corps persiste dans son état de repos ou de mouvement jusqu'à ce qu'une cause extérieure change cet état. Aussi, face aux philosophes s'interrogeant sur les raisons pour lesquelles le mouvement d'un corps perdure il faut plutôt s'interroger sur la raison pour laquelle il s'arrête « puisqu'il est de lui-même, indifférent au mouvement & au repos ; & incapable de changer ses manieres ; & que d'ailleurs Dieu s'est fait une loy de ne point changer les manieres d'être des corps, qu'à l'occasion de leur choc qu'il a établi cause occasionnelle de l'action de sa puissance qui doit executer ses changemens »⁸. L'ouvrage contient deux textes d'un « ami » : le premier, une lettre écrite « il y a bien 25. ans à l'illustre Auteur de la recherche de la vérité », se présente sous la forme d'une lecture commentée du Chapitre IX du Livre VI qui

produisent tous les ressorts de la Nature. Pour servir d'introduction à la nouvelle Physique, & d'Eclaircissement à la Piece qui a remporté le Prix de l'Academie Royale des Sciences en 1726, dans Recueil des pieces qui ont remporté le prix, t. I, p. ix et p. 6.

1 *Ibid.*, p. 6-7.

2 Joseph Privat de Molières, *Explication phisique et mécanique du choc des corps à ressort*, MARS 1726 (1728), p. 7.

3 Molières [1734], Leçon III, Prop. VIII, p. 186.

4 Molières [1736], Leçon VI, Prop. VII, p. 39. L'édition de 1745 des *Leçons* remplace « arbitraire » par « métaphisique », voir Molières [1745], Leçon VI, Prop. XIII, p. 77-78. L'élasticité et la dureté résultent pour Molières de la même action de la matière subtile ; la « cause arbitraire » ici évoquée est la force des corps au repos de Descartes qui chez ce dernier rend aussi compte des rebonds des corps lors des chocs, comme dans la règle 4 des *Principes*. Nous reviendrons sur l'importance du rejet de cette force pour Molières dans l'élaboration de sa physique dans la Partie II de cette étude.

5 Voir Partie II, Chapitres II.

6 Molières [1736], Leçon VI, Proposition VII, p. 43.

7 Sur ces critiques, voir Partie II, Chapitres II à IV et voir Chapitre III pour l'explication de la dureté par Molières.

8 François Lamy, *Lettres philosophiques sur divers sujets importants*, Trévoux, Imprimerie de S. A. S, 1703, p. 37. Sur les relations entre Malebranche et Lamy, dans un premier temps « le plus proche disciple de Malebranche » et un de « ces esprits cartésiens, augustinisens marqués par la philosophie de la *Recherche de la vérité* », voir Malebranche, OCM XIV, « Introduction », p. v-xiii.

réfute la thèse que le repos n'a rien de réel ; le deuxième se veut un « Traité » sur ce même sujet « suivant la méthode des Géomètres » avec des définitions, axiomes, propositions etc. et soutenant que les créatures ne sont que des causes occasionnelles¹. Lamy fait siens cette réfutation et cet occasionalisme : en lieu et place de sa propre « démonstration » des propositions que « Dieu soit l'unique cause de tout ce qui se fait : que les créatures n'aient en partage que la faiblesse & l'impuissance, & que le repos soit aussi réel que le mouvement », il donne celle de cet « ami »². Ces réflexions exemplifient que si l'occasionalisme exclut toute « potentialité » à la matière, comme le souligne A. Robinet³, ça n'est pas pour autant que l'équivalence ontologique entre repos et mouvement ne puisse pas exister dans le cadre de cette doctrine et, conséquemment, qu'il ne puisse pas exister une loi de persistance qui conférerait au repos un statut équivalent au mouvement, ce qui donnerait un cadre philosophique à un effet – une résistance provoquant une perte de mouvement – susceptible d'en permettre une conceptualisation via l'inertie.

Face à Malebranche soutenant ne pas avoir de « preuves certaines » que Dieu veuille par une « volonté positive » que les corps demeurent au repos, l'auteur répond que c'est par cette même volonté qu'Il veut et conserve le mouvement⁴. Selon Malebranche, il suffit que Dieu veuille la matière afin qu'elle existe et ce seulement au repos. Mais

la matière, selon vous-même, M. R. P. [Malebranche] étant indifférente au mouvement & au repos, on ne peut pas dire, à ne considérer que cette volonté abstraite par laquelle Dieu voudrait qu'il y eût de la matière, qu'elle fût plutôt en repos qu'en mouvement. On ne voit pas même que la matière pût exister par cette volonté générale & abstraite : car comme elle ne peut pas exister sans être ou en repos, ou en mouvement : parcequ'il n'y a point de milieu entre l'un & l'autre ; si Dieu ne déterminoit rien sur ces deux manières, on ne conçoit pas qu'il pût faire qu'elle existât. Il semble donc plus juste de penser que Dieu ne produira jamais de matière par cette volonté générale & indifférente, de même qu'il ne produira jamais de corps par la volonté générale d'en faire un figuré ; & à moins qu'il ne détermine s'il sera de figure angulaire ou sphérique. On ne conçoit pas que Dieu puisse vouloir qu'un corps existe, qu'en la manière qu'il peut exister. Or on ne voit pas qu'un corps puisse exister qu'en mouvement ou en repos, parcequ'un corps ne peut exister que situé : sa situation est ou fixe ou changeante : si elle est fixe, il est en repos : si elle est changeante, il est en mouvement (*ibid.*, p. 108-110).

L'indifférence, évoquée par Malebranche lui-même, conduit à ne pas privilégier le mouvement au détriment du repos et, par ailleurs, ces deux états sont les seuls que la matière peut prendre et chacun d'eux requièrent une volonté déterminée.

Lorsque Malebranche évoque deux puissances pour penser le corps en mouvement – celle qui crée la matière et celle qui la met en mouvement – l'auteur réplique que

c'est être bien libéral de puissances, M. R. P. que de les multiplier ainsi sans nécessité : mais pour les ménager un peu davantage : il me semble qu'il n'y a qu'à changer cette volonté générale de Dieu par laquelle il ne produit rien [à savoir la matière au repos selon Malebranche], en une volonté déterminée & opérante. Dés-là que Dieu veut déterminément qu'un corps existe, il veut aussi par la même volonté qu'il soit situé : il veut que cette situation soit fixe ou changeante ; & par conséquent il veut encore, par la même volonté, que ce corps soit en repos ou en mouvement (*ibid.*, p. 110-111).

1 *Ibid.*, p. 97-98. La première lettre porte le titre « Lettre. IV. D'un Physicien, à l'Auteur de la Recherche de la vérité sur la cause de la dureté des corps, & sur la nature & les causes du mouvement & du repos », *ibid.*, p. 99. Pour le « Traité » : « Lettre V. Au même Abbé. Où par la méthode des Géomètres, on démontre premièrement la réalité & la solidité du repos, secondement que Dieu est l'unique vraie cause de tout ce qui est réel », *ibid.*, p. 179.

2 *Ibid.*, p. 95-98. L'ouvrage de Lamy est anonyme et il écrit à Louis de Puget le 8 janvier 1704 que l'auteur « est de ma connaissance, et même de mes amis », mais « il ne veut pas être connu ». A ce même Puget, il écrit le 9 janvier 1703 « avoir démontré il y a bien vingt cinq ans au R. P. Malbranche, qu'il s'estoit trompé » concernant l'effet qu'« on attribue à la matière subtile », à savoir son rôle dans l'explication de la dureté des corps, Malebranche, OCM, XIX, p. 718 et p. 725.

3 Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 99.

4 Lamy, *Lettres philosophiques*, p. 108.

Il poursuit en notant que « la puissance qui agite » la matière ne diffère pas de celle qui l'a créée ce dont Malebranche devrait convenir puisqu'il ne distingue pas la création de la conservation : selon Malebranche « Dieu met un corps en mouvement & le crée, ou le conserve dans son état successif par une simple volonté » et « il n'est donc pas vrai que la matière mêlée enferme deux puissances ou deux volontés auxquelles elle a rapport, savoir celle qui l'a créée, & celle qui l'agite ». Aussi, la matière en repos ne renvoie pas seulement à l'idée d'une volonté créatrice de la matière, mais cette puissance qui crée est « la même qui la situe, & qui la met dans une situation fixe, c'est-à-dire en repos, en la conservant toujours au même endroit » (*ibid.*, p. 111-112).

La thèse qui assimile le repos à une privation du mouvement ne relève que des « idées confuses des sens », des « préjugés de l'enfance » attribuant plus d'action au mouvement qu'au repos en considérant qu'il possède un « je ne sçay quoi » qui ferait défaut au repos (*ibid.*, p. 114, voir aussi p. 120-121). S'il suffit à Dieu de vouloir que le mouvement cesse pour que le corps soit au repos, il faut en penser autant pour le mouvement par rapport au repos ; Dieu veut, par une « volonté positive », qu'une boule animée s'arrête tout autant que par une volonté égale il veut la mettre en mouvement :

comme Dieu ne fait rien au dehors que par sa volonté, c'est sa volonté qui meut & qui arrête les corps ; parceque c'est sa volonté qui les conserve situés ; & ainsi pour arrêter une boule après l'avoir agité, il faut qu'il veuille positivement la conserver située, & que le mouvement exclus, il ne reste pas d'autre situation que le repos. Et certes comme il ne l'agitoit qu'en la conservant successivement en divers endroits, il ne la peut arrêter qu'en la conservant en un même endroit ; & comme c'étoit par une volonté positive qu'il la conservoit en divers endroits, il faut aussi une volonté positive pour la conserver au même endroit. La raison est égale de part & d'autre (*ibid.*, p. 117-118).

Que le repos soit assimilé à la seule cessation de la volonté de Dieu qui fait le mouvement est récusé en s'appuyant sur la création continuée. Ainsi, « Dieu ne peut pas abandonner un corps après l'avoir créé » (*ibid.*, p. 117), et la si grande « dépendance » d'un corps à l'égard de Dieu fait qu'à chaque moment Il emploie autant d'action pour le conserver et l'empêcher de tomber dans le « néant » qu'Il en a employé pour l'en tirer ; l'action pour faire exister la matière s'identifie à une autre création et la conservation à une « continuelle création » (*ibid.*, p. 119). Aussi Dieu ne peut-Il cesser de vouloir agiter une boule qu'en cessant de vouloir son existence ou en voulant qu'elle existe au repos, lequel, conséquemment, ressortit d'une volonté positive. Face à Malebranche qui affirme que ce serait admettre en Dieu une volonté « sans raison & sans nécessité » que de donner au corps une force pour demeurer au repos, l'auteur soutient cette « nécessité » car « un corps étant indifférent au mouvement & au repos, il ne peut jamais par lui-même se déterminer à celui-ci » ; « la raison est que comme Dieu ne fait rien sans volonté, & qu'il conserve nécessairement un corps dans toute l'étendue de sa durée, & même qu'il le conserve situé, il faut qu'il veuille positivement le conserver situé d'une situation ou fixe, ou changeante » (*ibid.*, p. 121-123).

Malebranche réfute que le mouvement puisse s'entendre comme une privation du repos en évoquant notamment l'indétermination dans laquelle se trouverait le corps¹. Puisque le repos n'est « rien », les différents états de repos ne diffèrent pas les uns des autres. La critique de cet argument dans le livre de Lamy consiste à soutenir que « la différence des repos [entre eux] ainsi que celle des mouvements se doit prendre des masses ou de la grandeur des corps. De sorte que comme de deux corps qui vont d'un égal pas, celui-là à plus de mouvement qui a plus de grandeur ; ainsi de deux corps qui sont en repos, celui qui a plus de grandeur à plus de repos »². Malebranche affirme que pour créer un monde il ne suffit pas que Dieu cesse de vouloir qu'il ne soit pas mais il faut une volonté positive, tandis que sa destruction implique la

1 Voir Partie I, Chapitre II.

2 Lamy, *Lettres philosophiques*, p. 128-129.

cessation de vouloir qu'il soit et non de vouloir qu'il ne soit pas, car Dieu ne pas vouloir le néant. Mais « la comparaison n'est pas juste », selon Lamy, car c'est comparer l'être et le non être à « deux manières d'être toutes deux positives » que sont le mouvement et le repos ; de cesser de vouloir le mouvement « il ne s'ensuit pas que ce corps ne soit plus. Il n'est plus agité, il est vrai ; mais il est encore absolument ; il subsiste toujours, & ainsi il faut que Dieu veuille le conserver, & le conserver en repos : puisqu'on suppose qu'il cesse de vouloir qu'il soit mû, c'est-à-dire de vouloir l'agiter » (*ibid.*, p. 131-132).

Malebranche soutient que les « changemens » font tout dans la nature, mais l'auteur des « Lettres » réplique que « l'immutabilité du repos & sa fermeté ne font guerres moins » (*ibid.*, p. 138). Selon Malebranche, si le repos n'est que la privation du mouvement, le moindre mouvement « enfermera » plus de force que le repos du plus grand corps : « vous grossissez le mouvement sans mesure, & vous diminuez excessivement le repos ; l'un est la forme, l'autre la privation : l'un est tout, & l'autre n'est rien » (*ibid.*, p. 140), mais

comme le mouvement est réel, le repos est aussi très-réel [...] il a des propriétés très-réelles, [...] il résiste au mouvement ; [...] il arrête ses fougues ; [...] il marque son chemin, & lui donne sa détermination [...] Tout cela apparemment ne peut pas venir d'un rien ; le rien n'a pas de propriété ; & ainsi pour penser & parler juste, l'on doit dire que le repos est aussi positif que le mouvement, & qu'il demande aussi bien que lui une force & une volonté de la part de Dieu pour exister ; quoique ni cette force, ni cette volonté ne doivent pas être différentes de celles qui conservent le corps situé (*ibid.*, p. 141-142).

Dans le « Traité » se retrouve notamment l'idée que la création des êtres ne peut résulter que de la volonté positive de Dieu, et que par la cessation de cette volonté l'être cesse d'exister – son anéantissement ne demande donc pas « d'action positive » (*ibid.*, p. 182-185). Pour continuer d'être à chaque instant, il faut la même volonté de Dieu que lors de la création, et la conservation est une création continuée. Cette « *action conservatrice* » s'étend à tout ce qu'il y a de réel à l'instar de « l'action créatrice » (*ibid.*, p. 185-187). Les corps ne sont conservés que selon la manière dans laquelle ils peuvent exister : or, ils ne peuvent exister que « situés », dans une situation fixe ou changeante et successive, autrement dit en repos ou en mouvement ; « *donc en Dieu la volonté de conserver un corps, est la volonté de le mettre en repos, ou en mouvement* », et « *le repos & le mouvement ne sont qu'une suite naturelle & nécessaire de la conservation : ou de la volonté de conserver les corps* ». Seul Dieu peut créer et « situer » et ce « de deux manières qui ne peuvent être qu'une suite nécessaire de la volonté active & positive de Dieu, l'une ne demande pas moins que l'autre cette volonté pour exister » : « le repos ne demande pas moins que le mouvement une volonté positive de la part de Dieu ». Ainsi, « le repos n'a ni moins de réalité, ni moins de force que le mouvement » : « cette proposition regarde principalement un illustre Auteur de nos jours, qui croit avoir prouvé le contraire », en l'occurrence Malebranche (*ibid.*, p. 190-193). La suite du texte est alors un développement occasionaliste. Seule la volonté de Dieu met les corps en mouvement et en repos, volonté « d'une force infinie & invincible » que nulle créature ne peut donc vaincre par son efficace propre (*ibid.*, p. 194-196). Si une créature pouvait changer quelque chose de réel par sa propre efficace et comme cause véritable dans une autre créature, alors « elle changeroit, elle détruiroit, dans l'ouvrage de Dieu, ce qu'il y forme sans cesse, par son action conservatrice » puisque cette action s'étend à tout ce qu'il y a de réel, or, « cette volonté est toute puissante » (*ibid.*, p. 199-200). Seul Dieu est la cause véritable et « la puissance ou vertu des créatures les unes sur les autres n'est qu'une puissance & une action de cause occasionnelle » (*ibid.*, p. 215-216).

Ce livre n'ébranle pas Malebranche dans ses certitudes. En remarquant qu'il y est énoncé que le repos résiste au mouvement car c'est la volonté de Dieu qui crée la matière au repos aussi bien qu'au mouvement, Malebranche écrit qu'« il ne voit pas que cela ne prouve rien, et qu'il [l'auteur] devrait prouver que la volonté de Dieu pour le repos ne doit pas céder à celle

que Dieu a pour le mouvement, car Dieu peut et doit même subordonner ses volontez les unes aux autres », cette dernière thèse étant avancée dans le Chapitre IX du Livre VI¹.

Lozeran du Fesc, la matière sans résistance, l'occasionalisme et les débats lyonnais

Louis Antoine Lozeran du Fesc² remporte conjointement avec Jean Pierre de Crousaz le prix de l'Académie Royale des Belles Lettres, Sciences et Arts de Bordeaux de 1735 portant sur les causes de la dureté de la « molesse » et de la fluidité des corps³. Ses explications de la dureté et de la fluidité reposent sur l'action des petits tourbillons de matière subtile et sont indubitablement redevables à celles proposées par Malebranche qui est la référence privilégiée de son mémoire. Lozeran estime les petits tourbillons de Malebranche « pas assez établis » mais écrit qu'il « embrasse » la thèse de Malebranche ; l'enjeu du mémoire est donc d'asseoir davantage l'explication de Malebranche de la dureté par l'usage de ces tourbillons⁴. Avant de parvenir à cette explication⁵, Lozeran développe un long passage sur le statut de l'état de repos qui, dans l'esprit de son auteur, vise à compléter l'argumentation de Malebranche :

dans l'explication que je dois donner de la Dureté des Corps, je dois poser pour fondement ou pour préliminaire, que les Corps considerez en eux-mêmes & avec tous leurs modes & proprietz individuelles, sont infiniment mols ; ce qui ne peut se justifier, qu'en démontrant que le repos respectif de leurs petites parties qui se touchent, ne leur donne aucune veritable force pour demeurer les unes auprès des autres, ou aucune veritable resistente à être séparées. Les Disciples de Malebranche, & tous ceux qui sont entrez dans ses sentimens, me dispenseroient sans doute de cette réfutation. Convaincus par les raisons de cet Auteur, que le repos est une pure negation du mouvement, ils croyent la réfutation qu'il a donnée du sentiment de M^r. Descartes, si forte & si évidente, qu'ils jugent absolument inutile d'y revenir à nouveaux frais. Mais une infinité de Cartésiens n'en pensent pas de même ; ils ont lû la recherche de la verité, ils en ont médité & aprofondi les raisonnemens, sans y trouver assez de solidité pour se croire obligez à abandonner leur sentiment. Je crois même que ce n'est pas opiniâtreté en eux, du moins je vois bien des preuves très-fortes, que le repos est un mode positif des Corps & l'effet d'une volonté positive de Dieu ; preuves que le P. Malebranche n'a pas ébranlées, & qui mises dans la balance avec celles qu'il apporte du contraire, pourroient bien les enlever⁶.

Lozeran donne alors une réfutation du « sentiment de M^r. Descartes » : tout en admettant que « les Corps reposent par une volonté positive de Dieu », il écrit ne pas convenir avec les « Carthésiens » que « le repos leur [aux corps] donne une vraie resistance au mouvement, ou à perdre leur repos », et soutient « même très-évidemment que cette resistance est nulle » (*ibid.*, p. 7-9). Mais Lozeran affirme aussi que « le mouvement ne donne aucune véritable résistance aux corps » lorsqu'ils sont choqués, ni contre ceux immobiles qu'ils percutent.

Tout d'abord, de par leur indifférence les corps ne prennent pas de manière privilégiée un état et ne se déterminent pas à un prendre (art. 1 et 2, p. 1 et p. 7-8). Ensuite, « l'idée des Corps qui nous les represente sans principe d'action au-dedans, pour se donner quelqu'un des états dont ils sont susceptibles ; nous les represente également sans action au dehors pour donner à quelque sujet que ce soit ou l'être ou la manière d'être. Il n'est donc rien dans un

1 Lettre de Malebranche à Berrand du 15 mars 1704, Malebranche, OCM XIX, p. 726-727.

2 Nous reviendrons sur les travaux de du Fesc, notamment à travers les nombreux prix qu'il remporte, dans les Chapitres II à IV de la Partie II de ce livre. Dans la première moitié du XVIII^e siècle, il existe deux académies à Lyon, celle des sciences et belles-lettres et celle des beaux-arts. C'est plutôt dans cette dernière institution que ses membres développent des travaux de nature scientifique. Pour un aperçu sur ces académies et leurs activités, voir Pierre Crépel et C. Schmit, *Autour de Descartes et Newton. Le paysage scientifique lyonnais dans le premier XVIII^e siècle*, Paris, Hermann, 2017.

3 Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la dureté, la molesse et la fluidité des corps*, Bordeaux, Pierre Brun, 1735.

4 *Ibid.*, p. 8-9. Nous aurons l'occasion de revenir sur l'importance de Malebranche dans la physique de Lozeran dans les Chapitres II à IV de la Partie II.

5 Celle-ci sera évoquée dans la Partie II, Chapitre III.

6 Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la dureté*, p. 6-7.

Corps quelconque considéré en lui-même, en vertu de quoi il puisse donner l'être à un autre Corps, qui n'est pas, ou une modalité quelconque à un Corps qui est » (art. 3, p. 11-12). Cette idée des corps nous les représente aussi « incapables de recevoir une véritable force d'agir sur eux » (art. 4, p. 12-13)¹. Ainsi, « parfaitement indifferens » aux états, dépourvus de « tout principe » et de « détermination », les corps sont « parfaitement indifferens à garder ou à perdre l'état dans lequel ils ont été mis une fois, & par consequent de leur nature, ils sont sans force pour garder & sans résistance à perdre un état quelconque dans lequel ils se trouvent » (art. 5, p. 13-14).

L'idée des corps et de leurs modalités nous les représente « dépourvûs de toute force pour se conserver » comme « de toute résistance à leur destruction » sinon « leur existence ne seroit pas aussi parfaitement dépendante de Dieu » (art. 6) ; corps et modalités n'existent et ne se conservent que par une volonté de Dieu, et ils cessent d'être lorsque cette volonté cesse (art. 7). Par ailleurs, il ne peut pas être dit que la volonté divine productrice du corps ou d'une modalité résiste à la destruction de ce corps ou de cette modalité, car cette destruction n'étant que la cessation de leur être « ce Corps ou cette modalité cessant necessairement d'être aussitôt que la volonté de leur existence cesse d'être en Dieu, pour que la volonté de Dieu productrice de ce Corps ou de cette modalité résistât à leur destruction, il faudroit que cette volonté résistât à cesser d'être en Dieu, ce qui n'est pas, Dieu étant parfaitement libre » (art. 8). La volonté de Dieu productrice du mouvement de *A* qui choque *B* au repos ne produit pas le mouvement qui se trouve dans *B*, car les deux volontés productrices des mouvements diffèrent : la volonté appliquée à *A* et à *B* sont différentes car « ces deux objets [les mouvements de *A* et *B*] [sont] non-seulement aussi differens que les deux Corps *A* & *B*. mais l'un exist[e] avant que l'autre n'existe » ; « avant le choc, Dieu avoit la volonté de mouvoir le Corps *A*. & n'avoit pas la volonté de mouvoir le Corps *B*. puisque le Corps *B*. n'étoit pas en mouvement, après le choc le Corps *B*. est mû, donc alors Dieu à la volonté de mouvoir ce Corps *B*. qu'il n'avoit pas avant le choc ; mais avant le choc Dieu avoit la volonté de mouvoir le Corps *A*. donc la volonté productrice du mouvement du Corps *A*. ne produit pas le mouvement qui se trouve dans le Corps *B*. après le Choc » (art. 9). Dieu n'a pas en même temps des « volontez incompatibles » (qu'elles aient pour objet un même corps ou ses modalités, ou bien des corps différents ou les modalités de ces différents corps) ; Dieu ne peut pas vouloir que deux corps, en « supposant [leur] impenetrabilité », qui s'approchent par des mouvements contraires poursuivent leurs mouvements avec leurs mêmes déterminations (art. 10). Enfin, « Dieu cesse d'avoir une volonté sitôt qu'il en a une autre incompatible avec celle-là, & cela sans effort parce qu'il ne se resiste pas à lui-même » (art. 11)².

Dans un premier temps, Lozeran conclut qu'un corps ne peut pas produire de changements sur un autre (d'après les art. 3 et 4). Puis les corps en mouvement et au repos n'ont ni eux-mêmes ni en vertu de leurs modalités la force de conserver leur état et de résister (d'après les art. 5 et 6). Ils ne résistent pas non plus à perdre leur état par la volonté positive de Dieu productrice de ces états (d'après art. 8)³. Ainsi, « dans les Corps, leurs parties qui reposent respectivement, ne résistent point à leur séparation, ni de leur nature, ni par leur repos, ni par la volonté de Dieu productrice de leur repos, si leur repos est positif par les Articles 1. 5. 6. & 8. car, suivant la teneur de ces Articles, ces parties qui sont en repos, ne résistent point à perdre leur repos, ni à recevoir du mouvement : or il ne faut visiblement que leur faire perdre leur repos respectif, & leur donner du mouvement pour les separer ; donc elles ne résistent

1 Par nature, les corps ne possèdent pas de principe d'action et s'ils peuvent recevoir quelque force pour agir sur les autres corps « ce ne seroit que par quelqu'une de leurs modalités ». Or, ces dernières ne sont que « des déterminations de ce qui est déjà dans la substance » et, dès lors, « elles ne peuvent pas y mettre un principe d'action qui n'y est pas », *ibid.*

2 Pour les différents articles de ce paragraphe, *ibid.*, p. 13-16.

3 *Ibid.*, p. 17-18. Sur ce dernier point, Lozeran donne l'exemple d'un corps de très grande masse qui change sa vitesse voire sa détermination s'il rencontre sur son chemin un « grain de sable » : le mobile perd son premier état « donc il ne résistoit pas à le perdre, puisqu'il l'a perdu au moindre obstacle qu'il a trouvé ».

point à leur separation » : « il suit, que les Corps considerez en eux-mêmes avec leurs modalitez individuelles, si on n'a aucun égard à ce qui leur est étranger, sont infiniment mols, ou ne resistent point à la separation de leurs parties » (*ibid.*, p. 18-19)¹.

Ainsi, les corps en mouvement et en repos ne possèdent ni force, ni résistance. Mais si ceux en mouvement ne produisent pas le mouvement dans les corps en repos, même en vertu de la volonté divine productrice de leur mouvement, comment se fait-il que lorsqu'un mobile heurte un corps immobile ce dernier soit ensuite en mouvement ? La réponse repose sur les art. 10 et 11 : Dieu ne peut pas avoir des volontés incompatibles et cesse sans résistance d'avoir une volonté quelconque sitôt qu'il en a une autre incompatible avec celle-là. Ainsi, si *A* rencontre *B* au repos, les volontés de Dieu productrices des modalités des corps doivent changer car la volonté productrice de l'état *A* est incompatible avec celle productrice du repos de *B*. Dieu cesse donc d'avoir les volontés d'un ou de ces deux états pour en avoir aussitôt d'autres pour chacun de ces corps : ces nouvelles volontés et nouveaux états, « Dieu est parfaitement libre à les prendre » et « nous ne pouvons juger de l'ordre qu'il s'est prescrit en tout cela, que par l'expérience même des divers changemens, que nous voyons dans les états de mouvement ou de repos des Corps, qui sont à portée de nos observations » (*ibid.*, p. 19-21).

Lozeran rejette ce « cahos de causes secondes & efficaces » de « Philosophes » qui « durant une longue suite de siecles » ont attribué aux corps une « veritable force » pour agir sur un corps au repos, pour se résister mutuellement, ou qui conçoivent une « veritable résistance » dans les corps au repos (*ibid.*, p. 23-24). Si d'autres philosophes, avec raison, n'attribuent aucune activité au repos et au mouvement et aucune « veritable force », cela n'empêche pas « les nouveaux Philosophes d'attribuer de la force & de la resistance au mouvement des Corps, & même un grand nombre, d'attribuer de la force pour resister aux Corps au repos. Mais les uns & les autres ne leur ont attribué cette force, qu'en vertu de la volonté de Dieu productrice du mouvement ou du repos des Corps, & ils ne l'ont fait, que parce qu'ils ont supposé que la volonté de Dieu productrice du mouvement ou du repos des Corps, résistoit à la destruction de ces modalitez, & que la volonté productrice du mouvement d'un Corps quelconque, étoit la veritable cause du mouvement qui se trouve après le choc dans le Corps en repos choqué » (*ibid.*, p. 24-25)². Mais, comme Lozeran l'a montré, d'une part « les volontez de Dieu productrices des modalitez des Corps ne résistent point à leur destruction » et, d'autre part, « le mouvement qui se trouve après le choc dans le Corps qui étoit en repos avant le choc, n'est pas l'effet de la volonté de Dieu productrice du mouvement du Corps choquant » (*ibid.*, p. 25). Ainsi, « quand nous dirons qu'un Corps en mouvement a de la force, nous n'entendrons pas par là qu'il a une veritable activité, qu'on ne reconnoit que dans les esprits, ni même que la volonté de Dieu productrice du mouvement de ce Corps resiste à un changement d'état dans ce Corps, & produira du mouvement dans un Corps en repos, qui en sera choqué ; mais nous entendrons seulement, qu'il y a une quantité de mouvement dans ce Corps plus ou moins grande ; ce qui occasionne des effets differens, ou détermine Dieu à avoir des volontez différentes » (*ibid.*, p. 26)³.

1 Les « Corps mols » se définissent comme « ceux dont les parties tiennent [...] les unes aux autres, & se soutiennent, mais si legerement, que la moindre force sensible suffit pour les separer & pour les enfoncer », *ibid.*, p. 1.

2 Concernant ces « nouveaux Philosophes », Lozeran ne cite pas de savants. Il peut cependant viser ceux qui attribuent une inertie aux corps et notamment Leibniz et Newton qui font l'objet de critiques de la part de Crousaz, Saulmon, et Privat de Molières ; critiques que nous évoquons dans les pages qui suivent.

3 De la même manière, par l'« effort » exercé pour séparer les parties d'un corps il faut entendre « le mouvement qui est dans mes mains, ou dans les muscles de mon bras, ou dans les esprits animaux qui les gonflent, à quoi ils sont déterminés occasionnellement par ma volonté ». Ainsi, l'impossibilité de séparer les parties d'un corps résulte de la matière subtile dans laquelle il y a plus de mouvement que dans les esprits animaux des muscles et, « conséquemment à l'ordre établi par celui qui met tous les Corps dans l'état où ils sont, il change en ce cas la détermination des esprits animaux qui gonflent les muscles de mon bras, & non celle de la matiere, qui fait la Dureté des Corps ». *Ibid.*, p. 27-28.

Ce qui précède « renverse par les fondemens le sentimens des Cartesiens sur la Dureté » qui ne résulte pas d'une volonté divine. Par ailleurs « les nouveaux Philosophes » se voient critiqués en raison du fait qu'ils attribuent une résistance aux modalités en vertu d'un décret, divin alors que celles-ci ne résistent pas, et parce qu'ils conçoivent que la volonté productrice du mouvement cause véritablement le mouvement d'un corps immobile à l'issue d'un choc. Au demeurant, « l'idée des Corps » implique que la matière ne possède pas en propre une force. L'occasionalisme de Lozeran ne lui fait donc attribuer aucune efficace propre à la matière et rejeter les « causes secondes ». Au demeurant, il critique aussi bien des thèses occasionalistes que celles de « nouveaux Philosophes » pour lesquels la volonté divine productrice du mouvement est la cause (réelle ou occasionnelle) d'une mise en mouvement avec cet argument que Dieu ne peut pas avoir des volontés incompatibles : d'une part, la volonté de Dieu productrice du mouvement d'un corps ne résiste pas au changement d'état de ce corps et, d'autre part, ce corps n'a pas « une véritable activité ». Finalement, Lozeran va en quelque sorte au-delà de la métaphysique malebranchiste : tout en souscrivant que le repos n'a pas de force et ne fait pas l'objet d'une « volonté positive » de Dieu, il ne fait pas non plus du mouvement la cause productrice, même occasionnelle, d'une mise en mouvement. Il n'en demeure pas moins que Lozeran suit les traces de Malebranche au sujet du repos en critiquant la thèse des « Carthésiens » selon laquelle « le repos leur [aux corps] donne une vraie résistance au mouvement, ou à perdre leur repos », Lozeran soutenant « même très-évidemment que cette résistance est nulle » ; de fait, nous verrons que ses explications physiques s'appuient avant tout sur l'action du mouvement sans faire intervenir le repos¹. Par ailleurs, s'il est difficile d'identifier précisément les « nouveaux Philosophes » que Lozeran critique, son refus « d'attribuer de la force pour résister aux Corps au repos » peut suggérer une remise en cause du concept de force d'inertie et une dénonciation de ceux que Crousaz nomme, comme nous le verrons ci-dessous, des « sçavans du premier ordre » en visant explicitement Leibniz et probablement Newton.

Ce mémoire, primé, est aussi lu dans des séances de l'Académie des beaux-arts de Lyon². Par ailleurs, le Chapitre IX du Livre VI de *De la recherche de la vérité* fait aussi l'objet de réflexions au sein d'une autre institution lyonnaise de l'époque, l'Académie des sciences et belles-lettres. Le 24 août 1745, un de ses membres, Charles Cheynet, discute longuement un point de la métaphysique de Malebranche, explicitement mentionné, sous la forme d'« une dissertation sur le repos des corps, ou la privation du mouvement ». Cheynet s'interroge si « le repos des corps ou de la matière a-t-il de la force, de la réalité, et quelques autres propriétés ; Ou bien ne consiste-t-il que dans la privation du mouvement : Est ce un être ; Est ce un néant ». Il refuse l'argumentation de Malebranche et l'assimilation du repos à un néant et en revient alors à la thèse de Descartes. Il rapporte que des réfutations de l'opinion de Malebranche consistent à soutenir que Dieu ne peut vouloir l'existence d'un corps qu'en mouvement ou qu'au repos et que de la part de Dieu il ne faut pas plus de force pour un cas (le mouvement) que pour l'autre (le repos). Puis, il souligne que nos sens nous trompent, et que de la difficulté à mettre en mouvement notre corps nous estimons que le mouvement requiert davantage de force. Par ailleurs, selon la thèse de la création continuée, Cheynet soutient que Dieu conserve chaque corps à chaque instant et identiquement pour le repos et le mouvement. Enfin, si le repos n'avait pas de force, le mouvement ne trouverait pas de résistance et l'univers retomberait dans le chaos. On retrouve dans ce discours des éléments de critiques rencontrés chez Lamy. Le sujet suscite manifestement des discussions, puisqu'un

1 Ces explications – la nature de l'air, du feu, de la dureté – sont développées dans la Partie II, Chapitre III.

2 Ainsi, les 22 novembre, 29 décembre 1741, 17 janvier, 7 février, 28 février, 25 avril, 16 mai, et 13 juin 1742, l'académicien lyonnais Jacques Mathon de la Cour lit « un mémoire imprimé du R. P. Lozeran Dufesc, sur la dureté, la mollesse & la fluidité des corps, qui a remporté le prix à l'académie de Bordeaux. » en 1735. Voir les *Registres de l'Académie des beaux arts* pour ces années conservés dans les archives de l'Académie des Sciences Belles-Lettres et Arts de Lyon. Voir aussi Crépel et Schmit, *Autour de Descartes et Newton*, p. 196.

autre académicien, Louis Borde, « a lu quelques reflexions sur le mouvement et le repos » le 31 août 1745 qui « ont pris naissance dans le discours prononcé par Mr Cheynet dans l'assemblée du 24. de ce mois », sans pour autant que le contenu des « reflexions » soit connu¹.

CROUSAZ, LE REPOS SANS ACTIVITE ET LA CRITIQUE DE LA FORCE D'INERTIE

Jean-Pierre de Crousaz, dans son mémoire qui remporte le prix de l'Académie royale des sciences de Paris en 1720 et dans un ouvrage de 1726, offre un témoignage de la réception critique des thèses de Malebranche liées à la nature du repos et du mouvement et de l'occasionalisme ; ce *corpus* montre aussi l'importance d'une lecture de Malebranche dans la critique du concept de force d'inertie. Nous retrouvons dans les réflexions de Crousaz des arguments figurant chez Lamy concernant le refus de considérer le repos comme un néant. Mais Crousaz suit aussi une conception de l'action proche de Lozeran, en conférant au seul mouvement l'origine d'une force et en réfutant alors Descartes, sans pour autant adhérer à son occasionalisme. Il développe ainsi une vision originale sur la nature du mouvement et du repos, et il propose aussi, tout en suivant Malebranche, une critique du concept d'inertie.

Suivant Crousaz, « les corps n'ont de force que par leur mouvement, la force du mouvement, c'est le mouvement même », et le mouvement est une « manière d'être efficace & active »². Cette activité peut se « prouver » facilement : « un corps qui se meut change de place, il deplace donc, il pousse ce qu'il rencontre » (*ibid.*, p. 37). L'essence de la matière consiste en l'étendue et son activité s'entend par sa mobilité qui engendre des « poussées » entre les corps (*ibid.*, p. 12-17)³. La matière est passive dans le sens où « un corps en repos ne tire pas son mouvement de lui-même, mais le reçoit de l'efficace d'une cause qui lui est extérieure »⁴. Aussi, « dès qu'on sera convenu que corps & étendue c'est le même, on sera obligé de reconnoître, & on verra très-clairement, qu'aucun corps, c'est-à-dire, qu'aucune partie d'étendue ne peut tirer son mouvement d'elle-même, qu'elle ne sçauroit passer d'elle-même de l'état de repos à celui de mouvement ; qu'elle est indifférente à l'un & à l'autre de ces deux états ; qu'elle est également susceptible de l'un & de l'autre ; que par conséquent il faut que quelque cause extérieure la détermine à l'un plutôt qu'à l'autre » (*ibid.*, p. 16-17).

Pour Crousaz, « entant que le *mouvement* est une manière d'être *réelle*, le *repos* est opposé au mouvement comme un terme positif, & est son *contraire* aussi positif : Mais entant que le mouvement est un état *actif*, le repos n'en est que la privation, que la *negation*, car le repos n'a point d'activité, & l'étendue n'est active que par le mouvement » (*ibid.*, p. 35). Le repos n'a pas d'activité en ce sens que « si tout demuroit en repos, il ne se feroit aucun changement, & il ne se produiroit aucun effet » et, par ailleurs, il n'a pas d'activité au sens où il ne résiste pas à une mise en mouvement : « pourquoi un corps en repos résisteroit-il au

1 Voir les *Procès-verbaux de l'Académie des sciences et belles-lettres de Lyon, 1740-1747*, 24 août 1745, f° 53r-v et 31 août 1745, f° 54r, au sein des archives de l'Académie des Sciences Belles-Lettres et Arts de Lyon. Voir aussi Crépel et Schmit, *Autour de Descartes et Newton*, p. 108-109.

2 Crousaz, *Discours sur le principe, la nature, et la communication du mouvement*, dans *Recueil des pieces qui ont remporté le prix de l'Académie Royale*, t. I, p. 27.

3 Le livre de Crousaz, *Essay sur le mouvement, ou l'on traite de sa Nature, de son Origine, de sa Communication en general ; & en particulier des Chocs des Corps qu'on suppose parfaitement Solides & des effets qui doivent résulter de leurs différentes situations, & à cette occasion on examine encor la Question du Plein, & du Vuide & la Nature de la Reaction*, Groningue, Jean Coste, 1726 contient notamment le mémoire primé de 1720 qu'il reproduit en y ajoutant des notes de bas de pages. Dans la note (a), p. 26-27 insérée à la fin du passage du mémoire où Crousaz évoque l'essence de la matière, l'auteur précise que « quand je regarde comme Synonimes les termes de Corps & d'Etendue, par le mot d'Etendue j'esprime celle dont j'ay l'idée & c'est une Etendue Solide. Et il faut nécessairement en venir là ; car de deux choses l'une. Un Espace vuide, une Etendue non corps est possible, ou impossible : Si elle est possible, quand on definit le Corps à l'idée d'Etendue, il faut nécessairement j'oindre celle de Solide qui le caracterise & qui luy est essentielle, & si le Vuide est impossible Etendue & solide sont des termes reciproques, qui dit l'un, dit nécessairement l'autre ». Voir aussi p. 141-143.

4 Crousaz, *Discours sur le principe, la nature, et la communication du mouvement*, p. 7.

mouvement, puisque l'étenduë est également susceptible de l'un & de l'autre de ces deux états & se prête aussi aisément à l'un qu'à l'autre ? » Un corps immobile demeure « déterminé » à garder son état, et ce non pas par « répugnance » à être en mouvement, mais simplement parce que rien ne se fait sans cause (*ibid.*, p. 37). La matière est indifférente et susceptible de prendre également les deux états dont la différenciation repose sur l'opposition activité-passivité : « le corps de sa nature est un estre Uniquement passif, & qui ne devient actif que par le mouvement qui luy survient, qu'il ne se donne point, & qu'il reçoit d'ailleurs »¹. La différenciation entre le mouvement et le repos n'est donc pas conçue suivant les mêmes termes que Malebranche qui attribue un être positif au mouvement et assimile le repos à un néant. En effet, suivant Crousaz,

Descartes, après avoir conçu que le repos étoit un état réel, en a conclu avec trop de précipitation, qu'il étoit aussi actif, & lui a attribué autant de résistance au mouvement, que le mouvement avoit de force pour vaincre le repos. Le Pere Malebranche a relevé cette erreur, avec les autres où elle avoit engagé ce grand Philosophe ; mais en dépouillant avec raison le repos de toute activité, il est allé jusques à en faire une simple negation, un rien².

Crousaz écrit que « les argumens par lesquels le Père Malebranche pretendoit établir le neant du repos, ne me paroissent pas conclüans ». Il discute l'argument de Malebranche qui soutient que le repos n'est qu'une cessation de mouvement, alors que la « destruction » du repos n'entraîne pas le mouvement puisque ce dernier nécessite un sens et une vitesse définis. Pour Crousaz, la destruction de la « courbure dans une surface » la rend plane et, si on ne peut pas dire que la destruction de la portion plane donne une courbure car il en existe une infinité et qu'il faut en produire une déterminée, pour autant, il ne faut pas en conclure que « la position des parties d'une surface plane, n'est qu'une simple negation, que cette position n'est rien de réel, & qu'elle ne doit avoir qu'une definition négative ». Dès que le mouvement cesse le repos lui succède, « mais il y a une cause réelle, la nature de l'étenduë, qui exige necessairement un contact [avec les corps voisins] ; si ce n'est pas un contact successif [comme pour le mouvement], c'est un contact permanent ; elle exige necessairement & elle emporte une situation ou fixe ou variée ». Enfin, face à Malebranche soutenant que si Dieu ordonnait l'existence d'un corps il serait au repos et « ce repos seroit un rien », Crousaz remarque que « les idées de Dieu sont déterminées & non simplement des idées vagues » : « quand il ordonne l'existence d'un corps, il se représente déterminément ce corps à qui il commande d'exister. Donc son repos, s'il naît en repos, sera l'effet de la volonté divine ordonnant l'existence d'un corps en repos, d'un corps répondant à son idée. Dieu commandant l'existence d'un corps, se le represente aussi déterminément par rapport à l'état de repos ou de mouvement, que par rapport à sa grosseur, que par rapport à sa figure » (*ibid.*, p. 36-37). On retrouve là, sur ce dernier point, des thèses avancées par Lamy. Pour Crousaz, le fait qu'un corps conserve la même situation spatiale, à savoir qu'il « applique sa surface constamment aux mêmes parties » et qu'il « conserve la même situation & les mêmes relations de distance », voilà des termes qui « signifient » et « les idées qui leur repondent sont des idées réelles & positives » (*ibid.*, p. 36). La critique de Crousaz contre Malebranche ne concerne donc pas le rejet de la force de repos et le rôle que Descartes lui confère dans le choc, rejet auquel Crousaz souscrit, mais porte sur le refus de considérer le repos comme une privation.

1 Crousaz, *Essay sur le mouvement*, p. 149 et p. 147 sur l'indifférence.

2 Crousaz, *Discours sur le principe, la nature, et la communication du mouvement*, p. 35-36. Les « autres » erreurs évoquées dans cette citation par Crousaz sont probablement celles dénoncées par Malebranche qui révisé globalement le système de Descartes à partir de ce rejet de la force des corps au repos ; voir Partie II, Chapitre I pour cette révision malebranchiste.

L'autre critique adressée à l'encontre de Malebranche porte sur la question de savoir si le choc est cause occasionnelle ou réelle de la distribution du mouvement. Crousaz présente alors deux « hypothèses » sur la nature de la cause des interactions des corps :

quand le Createur du mouvement aussi bien que de toutes choses, l'a fait naître, il a voulu que les corps rencontrés par ceux qu'il avoit mis en mouvement, s'y missent aussi, & qu'autant que ceux-ci prendroient de mouvement nouveau, autant ceux qui les fraperoient en perdissent de celui qu'ils avoient. Cette volonté à eu d'abord son effet, & comme elle subsiste, son efficace continuë aussi, & on continuë à voir l'exécution de cette volonté. C'est la *veritable* cause des mouvemens qui naissent de nouveau, dont le choc des mobiles est simplement l'occasion. Mais il se peut qu'il n'eût pas besoin de recourir à la toute-puissance de l'Être souverain, pour y chercher la cause *veritable* & *immediate* de tous les mouvemens nouveaux qui se produisent, & de tout ce qui s'en détruit. Il se peut que les chocs qu'on regarde dans cette hypothèse uniquement comme des occasions & des *causes aparentes*, soient eux-mêmes des *causes veritables* & réelles (*ibid.*, p. 56)¹.

Crousaz considère le mouvement comme « un état réel du corps, il y existe, il est en lui, ou plutôt c'est le corps même existant d'une certaine façon ». Or, un corps qui « *change de place* » est un mobile qui « *deplace* ce qui s'oppose à son passage », et un corps qui « *change réellement de place* » est donc celui qui « *déplace réellement* ceux qu'il rencontre ». Pour Crousaz, il implique contradiction qu'un corps se meuve sans déplacer ceux qu'il rencontre, or « c'est là le *caractere essentiel d'une veritable cause*, quand il implique contradiction qu'elle agisse & que l'effet ne naisse pas de son action changer de place est un *état actif*; l'effet nécessaire de cet état actif, est de faire aussi changer de place à ce qu'il rencontre & à ce qu'il déplace ». Dieu, « a vû cela en créant le mouvement » et, en lui donnant une existence, « il lui a donné tout ce qui étoit nécessaire pour exister, & la force de déplacer l'étoit. Le mouvement a donc reçu cette force ; il l'a reçûe en recevant son existence, & cette *force*, a le bien prendre, n'est pas différente de lui-même. Changer de place & déplacer, c'est le même état considéré sous deux diverses relations »². Si Malebranche voit dans les causes secondes une forme d'idolâtrie éloignant de Dieu³, Crousaz juge au contraire « plus digne d'elle [la puissance divine] de se déploier pour produire des choses réelles, que pour donner simplement naissance à des riens & à des apparences d'Êtres, pour produire des causes & des forces réelles, que pour faire naître de simples apparences de causes & de forces » (*ibid.*, p. 64).

Crousaz estime que l'acte de « dépoüiller » les créatures d'activité repose sur des motifs différents. Pour certains exhiber leur « extrême & absoluë foiblesse » a pour fin d'« engager les hommes à ne craindre & à n'aimer que Dieu ». Pour d'autres, l'absence qu'a la créature d'activité propre les « affranchis de toute crainte, de tout reproche, de toute loi, en se considerant comme des Êtres sans activité, uniquement passifs & entraînés par une suite infinie de mouvemens, tous nécessaires, auxquels ils n'ont d'autre part que celle de les recevoir & de les sentir ». Mais « plus les premiers ont de piété, plus ils doivent craindre d'affermir les autres dans des principes, dont les suites naturelles vont si droit au renversement de toute vertu & de toute religion ». Les « principes » du système des causes occasionnelles sont alors « extrêmement suspects » et « il n'en faut pas davantage pour en conclure qu'ils sont faux ». Crousaz dénonce notamment l'absence de « liberté réelle » du fait de celle d'une « activité réelle » des êtres conduisant alors à l'absence de devoir, de loi, de

1 Iltis, « The Decline of Cartesianism in Mechanics », p. 359-360 ne tient compte que de la première partie de cette citation, celle relative à l'occasionalisme, sans manifestement considérer qu'il s'agit là d'une « hypothèse » et, finalement, elle considère que Crousaz est un occasionaliste. Nous ne pensons pas que ce soit le cas, comme la suite le montrera. Pour une réflexion de Crousaz sur les causes secondes et les causes occasionnelles voir aussi son *Système de reflexions qui peuvent contribuer à la Netteté & l'Etendue de nos Connoissances : ou nouvel essai de logique*, Amsterdam, François L'Honoré, 1712, t. I, p. 256-261.

2 Crousaz, *Discours sur le principe, la nature, et la communication du mouvement*, p. 56-57.

3 Voir Partie I, Chapitre II.

morale (*ibid.*, p. 61-62). Ainsi, « Dieu a voulu se représenter dans ses ouvrages : L'existence des créatures est une image de la sienne ; leur activité une représentation de son activité ; & comme une existence réelle est plus propre à représenter celle de Dieu, & en offre à ses yeux une image beaucoup plus juste ; une activité véritable représente aussi celle de Dieu, tout autrement que ne seroit une activité qui ne seroit qu'une apparence & un rien dans le fonds. L'existence des créatures est réelle & différente de celle de Dieu, de qui elles la tiennent : Leur force de même est réelle, & elle est réellement une force distincte de la puissance divine d'où elle vient » (*ibid.*, p. 64). Bien que la volonté Dieu soit « la première cause », ce n'est pas l'« unique » : « elle n'est pas cause de rien, elle n'a pas produit de simples apparences ; & les forces, les causes auxquelles elle a donné l'Être, sont des forces réelles & des causes véritables, qui agissent & qui produisent leur effet. De Dieu elles ont reçu leur existence & leur pouvoir d'agir ; mais comme elles font effectivement, elles peuvent réellement. Elles existent véritablement, & agissent de même » (*ibid.*, p. 65). Crousaz conclut ses critiques contre la thèse de Malebranche du « néant du repos » en remarquant que « c'est là une question véritablement Métaphysique plutôt que Physique, & qui roule sur une certaine précision d'idées. Pour l'explication des Phénomènes de Physique, il suffit de convenir que le mouvement est actif, & que le repos ne l'est pas » (*ibid.*, p. 37).

La divergence métaphysique n'empêche pas la convergence de vues en physique et, dans un exposé touchant aux « causes réelles » de l'action, à aucun moment Crousaz ne mentionne le repos mais construit sa rédaction sur une dissymétrie n'attribuant qu'au seul mouvement une « activité » :

le mouvement étant de sa nature un état actif ; par la même qu'il existe, & qu'il est en mouvement, il se trouve déterminé à surmonter les obstacles, à ne pas céder, à s'opposer à ce qui tend à la faire cesser. Mais pour ce qui est du *Repos*, quand même on ne le mettra point à rang des simples *Negations*. Quand même on le concevra comme une manière d'être très *réelle*, toujours n'est il point un Etat *actif*¹.

Il faudrait ainsi penser que si l'activité revient à la possibilité de surmonter et de s'opposer au changement, l'absence d'activité caractérisant le repos ferait qu'un corps immobile s'avèrerait incapable de tels effets. L'intérêt des textes de Crousaz tient alors à ce lien qu'ils tissent entre la notion de passivité, le refus de la force de repos, l'inspiration malebranchiste, et le rejet de l'inertie de la matière et de la réaction. La passivité de la matière – opposée à l'activité qui elle est capable d'effort et de surmonter des obstacles – n'est pas seulement entendue comme une absence de mouvement spontané mais aussi une absence d'inertie ; la résistance éprouvée à une mise en mouvement ne s'explique pas par une force qui existerait en vertu d'une volonté primitive de Dieu mais par des facteurs extrinsèques au corps.

En effet, dans le *Discours* de 1720, Crousaz écrit que lors du choc inélastique entre un mobile et un corps au repos, la vitesse du premier diminue « par l'union du frappant & du frappé » et par le fait qu'ils forment « une seule masse ». En somme, la perte du mouvement s'interprète par ce mouvement commun ainsi que par une conservation de la quantité du mouvement. A ce passage, l'*Essay* de 1726 ajoute une note développant une critique de la « réaction » :

ce ralentissement de Vitesse & de Force, dans le Mobile frappant, a donné lieu de supposer une REACTION dans le frappé, c'est-à-dire une action réciproque, par laquelle le frappé, agit sur le frappant, autant que celui-ci agit sur lui. Il lui donne autant, pour ainsi dire de son repos, qu'il en reçoit de mouvement. Le frappé oppose au frappant une résistance proportionnée à sa Masse, & par ce moyen il se détruit dans le frappant autant de mouvement qu'il s'en produit dans le frappé. Je reconnois que le même effet arrive que si une telle Réaction avoit lieu & le produisoit. On peut donc la supposer, pour la facilité des calculs, si on trouve qu'elle les rend plus aisés ; Mais qu'il me soit permis de dire que je ne la supposeroi qu'avec cette

¹ Crousaz, *Essay sur le mouvement*, p. 149.

reserve. Ou une REACTION, agit d'une telle manière, ou quelque autre cause produit l'effet qu'on impute à une Réaction. La manière dont je viens d'expliquer la naissance du Mouvement dans le Mobile frappé & sa diminution dans le frappant me paroît simple & intelligible ; mais j'avoue qu'il n'en est pas de même de la Réaction, & que je n'ay pas sçû m'en former d'idée. Je comprends seulement qu'à force de la supposer, & de tirer de cette supposition des conséquences que l'expérience ne dément pas, on se rend enfin ce terme familier, qu'on ne pense plus à douter de l'existence du je ne sçay quoi qu'il suppose, & on s'étonne que d'autres en puissent douter (*ibid.*, p. 110-111).

Cette perte de mouvement du mobile incident peut bien se justifier par cette réaction, mais la raison d'être d'une telle notion ne tiendrait qu'à sa commodité technique. Il ne faut pas lui conférer une réalité particulière mais la subordonner à un principe de conservation du mouvement :

si donc par la réaction du Repos on se contente d'entendre un certain effet qui se produit dans le mobile, un certain état, une certaine modification qui luy survient toute semblable à celle que le repos feroit naître par une réaction, s'il étoit capable d'action, s'il étoit en état actif, je ne me rendrai difficile sur ces mots, & je ne refuserai pas de me[n] [sic] servir avec ceux qui les aiment, & qui les trouvent commodes ; Mais je les expliquerai dans le sens que je viens de leur donner (*ibid.*, p. 157).

La « réaction » n'a donc pas de réalité particulière, elle n'est qu'un mot, et elle ne répond pas à un critère de clarté étant donnée la matière définie par l'étendue et inative. Par ailleurs, le « *je ne sçay quoi* » rappelle le mot de Malebranche dans sa critique de la force de repos de Descartes et il semble bien que Crousaz privilégie lui aussi le mouvement au détriment du repos.

Le livre de 1726 contient aussi un « Eclaircissement sur la réaction » et un « Eclaircissement sur la force du mouvement » qui complètent ce premier aperçu concernant la réaction. Ces sections rappellent ce qui est énoncé en 1720, à savoir l'activité du mouvement, seule cause possible d'un changement, la passivité du repos, ce dernier n'étant pas actif tout en étant une « manière d'être très réelle » (*ibid.*, p. 148-152). En raison de cette absence d'activité les corps immobiles « cedent » au mouvement, contrairement à ce qu'énonce la règle 4 des *Principes* de Descartes, et ils n'ont « aucune [...] répugnance » à être mis en mouvement (*ibid.*, p. 146-147 et p. 150)¹. Mais, au-delà de ce correctif apporté aux *Principes*, il s'agit bien pour Crousaz d'énoncer que « le repos n'oppose pas de résistance & n'a pas de réaction », autrement dit, qu'il ne produit pas un effet que certains de ses contemporains attribuent à la force d'inertie. Crousaz souligne que « on a [...] imaginé, dans les corps au repos » et « on leur a attribué une certaine REACTION » (*ibid.*, p. 146). Il évoque alors, comme souligné, le caractère « commode » du mot pour exprimer un effet, tout en ajoutant que si un mobile perd du mouvement lors du choc contre un corps au repos cela ne vient ni d'une « répugnance », ni d'une « réaction » de ce dernier, mais seulement du fait que « telle est la nature du mouvement, que pour subsister en quantité égale, il faut nécessairement que la vitesse diminuë a proportion que la Masse augmente » (*ibid.*, p. 157-158). Il mentionne aussi différents phénomènes physiques, telles que les attractions d'aimants entre eux, que certains savant attribuent à de vrais « *Attractions* dont on n'a pas d'idées » alors qu'on pourrait supposer des « *causes Impulvies* », autrement dit l'action de matières subtiles. Mais, pour Crousaz, même en supposant ces « *Attractions* », « la Réaction n'en sera pas une suite » car, au fond, un aimant attire par sa force un autre et est à son tour attiré par ce

1 Voir aussi p. 148 : « il implique contradiction qu'un corps ait du mouvement, ou soit en mouvement, & ne se meuve pas. Il implique de même contradiction qu'il se meuve sans pousser ceux qu'il rencontre : il implique contradiction qu'il change de place & ne déplace pas. Je dis donc que le Mouvement a une force, ou qu'il est en luy même une activité en vertu de laquelle, il ne s'arreste pas, dès qu'il rencontre en chemin un corps en repos, ou un corps qui ait moins de mouvement. Le mouvement ne sçauroit produire les effets auxquels il est destiné, & qui sont les suites de sa nature, s'il étoit arrêté tout court par le repos ».

dernier, et chaque force produit son effet « sans le secours d'une Réaction ». La réaction n'a alors que le statut d'hypothèse mathématique :

on peut citer ces cas, comme des Exemples d'une Réaction qu'on suppose tenir la place d'une autre cause, & si elle-même n'est pas réelle, on luy attribue les forces de cette cause & sur ce fondement on batit des calculs dont la conclusion est juste. Ces hypotheses sont fréquentes chés les Mathematiciens, & elles ont cela de commode que la vérité des calculs devient, par là, indépendante de tout système, & s'appliquera, d'elle-même au vray, dès qu'il sera trouvé & démontré (*ibid.*, p. 164-165).

Manifestement, pour Crousaz, cette « Réaction » ne correspond pas « au vray », et il en est de même pour l'inertie. Le savant juge que

depuis quelque temps le goût de l'absurdité s'est emparé de quelques sçavans du premier ordre, & dès là s'est répandu comme une espece de mode ; on étoit las de la clarté, on à attribué au *Repos* une certaine *Force*, dont on n'a aucune idée, & qui de plus est incompatible avec la notion de repos, & tout ce qu'on connoit de sa nature, & pour donner plus de Merveilleux à cette hypothese, on s'est fait plaisir d'appeller cette force imaginée du nom paradoxé de VIS INERTIÆ. Ce parâdoxe a eu assez de charmes pour faire négliger la contradiction (*ibid.*, p. 168).

Crousaz ajoute qu'« on a de même imaginé une force différente de la Quantité de mouvement, différente du mouvement même, & cette *Force* dont on n'a point d'idée, on en a fait assés de cas pour esperer qu'elle deviendroit le sujet d'une *science* particuliere, qu'on a par avance apellée *Dunamique* », le propos se poursuivant par une réfutation de la mesure de la force d'un corps en mouvement par sa force vive (*ibid.*, p. 168-171). Ces évocations de la « *Dunamique* » et de la force vive renvoient à Leibniz, au demeurant mentionné quelques pages plus loin (*ibid.*, p. 171)¹, mais la mention de « sçavans du premier ordre » pourrait aussi viser Newton. En 1741, Crousaz ironise à nouveau sur cette « force d'inertie c'est-à-dire, force d'incapacité » en précisant que qu'il entend pour sa part sous le terme « *iners* »

un corps en mouvement, par là même qu'il est en mouvement, a la force de déplacer ceux qu'il rencontre, sans cela son mouvement seroit inutile ; il auroit une activité incapable de produire aucun effet, & par conséquent une activité sans activité : Cette activité n'est pas infinie, elle est renfermée dans des bornes précises : Un corps en mouvement peut donc mettre en mouvement celui qu'il rencontre, mais en telle sorte, que les mouvemens du frappant & du frappé ne seront point plus grands que n'étoit le mouvement du frappant, c'est-à-dire que la seconde masse ne parcourra pas un espace plus grand, que celui qui auroit été parcouru par la première, si elle n'avoit rien rencontré. D'où vient cela ? C'est que le corps frappé est incapable de se donner du mouvement, il est en lui-même une masse sans activité, *iners* ; le repos est bien un état réel, mais non pas un état actif ; le corps en repos ne fait aucun effort contre le corps en mouvement, il lui cède, mais il ne l'aide point, c'est au frappant qu'est dû tout le mouvement de la masse, qui devient composée des deux, & par conséquent cette masse, composée des deux, ne doit pas avoir plus de mouvement que la partie qui en est l'unique cause. Il arrive alors quelque chose de tout semblable, à ce qui arriveroit par une résistance, l'inertie, c'est-à-dire l'incapacité du dernier à se donner du mouvement, est cause de la diminution, ou pour parler plus exactement, la diminution de la vitesse du frappant est une suite de l'incapacité du frappé à se donner du mouvement ; ce n'est que quand il faut soulever le frappé, que sa pesanteur, qui est un état réel & actif, y oppose réellement une vraie résistance².

Cette même critique se retrouve bien plus tard chez Joseph Etienne Bertier dans le cadre d'une opposition entre deux systèmes physiques reposant, d'un côté, sur le plein et les

1 La critique du système de Leibniz fait l'objet principal de Crousaz, *De l'esprit humain, substance différente du corps, active, libre, immortelle. Vérités que la raison démontre ; et que la révélation met au-dessus du tout doute*, Basle, J. Christ, 1741. Sur l'usage du mot dynamique par Leibniz, voir notamment Fichant, « De la puissance à l'action : la singularité stylistique de la dynamique », dans *Science et métaphysique dans Descartes et Leibniz*, Paris, PUF, 1998, p. 206-214. D'Alembert, dans l'article « Dynamique », *Encyclopédie*, t. V, p. 174b écrit que « Leibnitz est le premier qui se soit servi de ce terme pour désigner la partie la plus transcendante de la mécanique ».

2 Crousaz, *De l'esprit humain*, p. 117-118.

impulsions et, de l'autre, sur le vide et des forces à distances : pour Bertier, « les deux mots, *force & inertie*, sont incompatibles ensemble ; le premier marque une action, l'autre une inaction ». Cette force d'inertie ne marque rien d'autre que la « qualité ou capacité » d'un corps au repos à diminuer le mouvement d'un autre :

la force est active, & la capacité à recevoir est passive ; la force est un mouvement qui peut se communiquer à un corps, qui peut transporter ce corps lorsque cette force est vive, ou bien empêcher le transport de ce corps lorsque la force est morte ; & la force d'inertie ne peut ni transporter un corps, ni empêcher le transport d'un corps, elle n'est point un mouvement, elle est seulement la capacité d'en recevoir, & non d'en donner, & si elle le diminue dans le corps choquant, c'est en le recevant & non en l'ôtant de force ; ce n'est donc pas une force puisqu'elle n'en a pas les qualités essentielles¹.

Les thèses de Crousaz le conduisent à ne pas conceptualiser une réaction du corps au repos parce que celui-ci, de par sa nature, ne renferme pas l'idée d'activité dévolue au seul corps en mouvement ; l'idée de « force », de « résistance » s'avère incompatible avec l'essence de la matière identifiée à l'étendue impénétrable. La force d'inertie n'est qu'un nom, une autre façon d'exprimer ce qui s'entend naturellement par un principe de conservation du mouvement. Le rejet de cette force s'accorde avec le préambule du prix de 1720 où Crousaz écrit qu'« on peut bien donner des noms à des causes que l'on cherche encore », comme les algébristes manient « les quantités qui sont encore inconnues ». Mais il faut prendre garde qu'à force d'usage des signes et de « se rendre ces noms familiers », « on ne vienne à se flatter de connaître suffisamment les choses mêmes qu'on s'est accoutumé à indiquer par ces expressions » ; on peut les croire telles qu'on a jugé de les supposer mais peut-être que « les effets merveilleux qu'on leur attribue [...] sont dûs à de tout autres causes »². Le refus de la force de repos, l'action à partir du seul mouvement, semblent dans le droit fil des théories de Malebranche. Par ailleurs, se retrouve aussi cette justification de l'interaction entre corps sur le modèle de l'*actio-passio* plus que de l'action-réaction : c'est avant tout le corps en mouvement qui agit, et la perte de son mouvement s'interprète dans le cadre d'un principe de conservation davantage que par l'effet d'une réaction ; c'est aussi ce que suggère la citation ci-dessous de Bertier. Si Crousaz critique l'identification du repos à un « néant » et la thèse ne voyant dans cet état qu'une « privation », et ce en s'opposant explicitement à Malebranche, ça n'est pas pour autant qu'il fait de l'état de repos la cause d'un quelconque effet. Le *Discours* et l'*Essay* suggèrent que la lecture de Crousaz du *corpus* malebranchiste peut être un élément de son rejet de la force d'inertie qui se réduit à nom commode prêté à un effet.

JUSTIFIER LA RESISTANCE A UNE MISE EN MOUVEMENT

Comment justifier la perte de mouvement d'un mobile qui heurte un corps au repos si ce dernier ne résiste pas, au sens où il n'a pas d'inertie ? Nous évoquons cette question avec l'examen de travaux des académiciens des sciences Privat de Molières, Dortous de Mairan, Saulmon, et de réflexions de Crousaz.

Crousaz et Privat de Molières

Comme souligné, pour Crousaz la perte de mouvement d'un mobile qui percute un corps au repos se conçoit donc par le biais d'une loi de conservation du mouvement. Lorsqu'une

-
- 1 Bertier, *Physique du Ciel, où l'on confronte sans partialité le Vuide avec l'Ether, l'Attraction avec l'Impulsion. Et où sont contenus les Principes de toute la Physique généralement*, t. I, Paris, Imprimerie Royale, 1763, p. 462-463. Ici, la force dite « vive » est celle susceptible de produire un mouvement, tandis que la force dite « morte », bien qu'agissant, ne produit pas de mouvement, comme c'est le cas de la pesanteur d'un corps posé sur un support.
 - 2 Crousaz, *Discours sur le principe, la nature, et la communication du mouvement*, p. 3-4.

boule d'argile molle heurte une autre boule immobile elle s'aplatit et met en mouvement le corps : « à quelle cause faut il attribuer cet effet ? Est-ce au *mouvement* même de la boule qui pousse & qui agit, ou a la réaction de celle qui est poussée, & qui, à un certain égard, au moins, paroît simplement passive ? »¹ La réponse tient alors au fait que

quand un Corps en pousse un autre, c'est une nécessité que sa vitesse diminuë à proportion du mouvement qu'il donne a l'autre, car de la masse qui pousse, & de celle qui est poussée il se fait un seul bloc, un seul tout, & ce nouveau tout ne doit pas avoir plus de mouvement, qu'il n'y en avoit dans le mobile qui a poussé & ébranlé l'autre [...] Puis donc que le mouvement ne doit pas croître, il faut que la vitesse diminuë à mesure que la masse devient plus grande (*ibid.*, p. 154-155).

Aussi, les « premières parties du corps mol » mobile proches du point d'impact perdent successivement de leur vitesse quand les autres plus éloignées continuent avec leur vitesse incidente. Ces « premières parties plient » pour cette raison² et aussi parce que la « matiere qui remplissoit les pores du corps mol » s'échappe ce qui facilite, selon Crousaz, « l'étreçissement » des pores du corps car, alors, « le liquide environnant » agit sur le corps. Ainsi, « c'est [...] dans le mouvement même du corps mol qui frappe, qu'on trouve la cause veritable & réelle, de ce changement de figure, qu'on n'est pas fondé d'attribuer à la réaction de la masse, qui étoit en repos, & qui passe de cet état, à celui de mouvement » (*ibid.*, p. 155-156). Crousaz en conclut accepter le « mot » de « réaction » du corps au repos si on le trouve « commode », « mot » qui résume une « certaine modification » dans le mobile comme si le corps immobile agissait, tout en soulignant avoir donné la véritable explication de cet effet (*ibid.*, p. 157). Ainsi, lors d'un choc, la « veritable cause » pour laquelle un mobile perd de sa vitesse « ce n'est pas, qu'une partie de son mouvement soit détruite par une espece d'effort, de resistance, & de réaction, que luy oppose un corps en repos ; Mais c'est parce que la masse étant grossie, elle doit faire moins de chemin, sans quoy le mouvement d'une premiere & d'une seconde masse, jointes ensemble, seroit plus grand que n'étoit le mouvement de la premiere seule » (*ibid.*, p. 228). De la même manière, en supposant un ressort comprimé placé entre deux corps immobiles, lorsque ce ressort se débande les vitesses produites sont en proportion inverse des masses, mais ceci ne constitue pas « une preuve de la force de l'inertie » : les « deux dilatations égales » produites sur chaque corps font qu'ils « recevront » une même quantité de mouvement ceci impliquant des vitesses selon cette proportion (*ibid.*, p. 239-240).

Privat de Molières développe le même type de justification pour rendre compte d'un effet attribuable à l'inertie et adopte aussi le même point de vue : l'usage de l'expression « force d'inertie » pour rendre compte d'un effet ne signifie pas l'acceptation du concept que ce mot désigne. Ainsi, « quoiqu'il soit vrai qu'un corps au repos n'ait jamais aucune force capable de résister au mouvement ; ce n'est pas à dire pour cela que lorsqu'un corps *A* rencontre un autre *B* en repos, le corps *A* ne doive perdre de son mouvement, & qu'on ne puisse dire en un sens que le corps *B*, recevant le mouvement que le corps *A* lui communique, *résiste* au mouvement du corps *A* : non pas en refusant de le recevoir, comme Descartes l'avoit pensé ; mais en lui ravissant une partie de sa force & de sa vitesse »³. Comme pour Molières, cette perte de

1 Crousaz, *Essay sur le mouvement*, p. 153.

2 Crousaz considère une masse composée de « parties » qui « sans se dégager les unes des autres, peuvent tourner l'une autour de l'autre, à peu près comme les Aneaux d'une chaîne ; les parties qui se trouvent situées sur la surface antérieure de cette masse en mouvement agiront les premières sur le corps qu'elles rencontreront, & leur action sera suivie de l'impulsion des autres successivement, jusques à celle des la face postérieure ». Ainsi, lors d'un choc, les « premieres parties » proches du point d'impact perdent de leur vitesse et se meuvent plus lentement que les plus éloignées qui conservent la leur et « cela détermine ces premieres parties faciles à ployer, détermine ces premiers anneaux à tourner & a se replier en arriere. Même chose arrive, d'abors après, aux secondes parties, & aux seconds anneaux, & ainsi successivement », *ibid.*, p. 153-154.

3 Molières [1734], Leçon IV, Proposition X, p. 260.

mouvement n'est qu'une conséquence d'un principe de conservation du mouvement : « M. Newton appelle *Force d'inertie* cette résistance, qui n'est qu'une conséquence de la loi du choc, qui veut que les mouvemens se distribuent aux masses, & que la vitesse du choquant diminuë ; Mais je m'abstiendrai de me servir de ce mot, pour ôter aux Commençans toute occasion de penser qu'il y ait dans la nature d'autres forces que celles qui procedent du Choc »¹. Dans l'édition de 1745 du livre, la dernière phrase (« Mais ... Choc ») disparaît, remplacée par « ce que l'on peut admettre sans inconvenient »². Il faut manifestement entendre la différence entre les deux éditions comme l'acceptation d'un terme – la « *force d'inertie* » – mais non du concept, terme qui revient à une autre façon d'exprimer une perte de mouvement dont la raison est à chercher du côté d'un principe de conservation.

L'analyse des raisons du sentiment de pénibilité éprouvé à mouvoir un corps menée par Crousaz rejoint les conclusions ci-dessus. En supposant que le milieu extérieur n'agisse pas, la vitesse de notre bras diminue à mesure d'une « Masse poussée » plus grosse, diminution accompagnée « d'un sentiment incommode ». Pour le maintien d'une vitesse constante, « la tension des fibres » musculaire devient « plus roide » et « seroit encor suivie d'un nouveau sentiment penible ». Ceci fait imaginer dans ce corps une « repugnance à avancer », « une je ne sçay quelle fermeté active à ne sortir pas de l'état de repos ». Mais ceci ne relève que « des illusions, & des restes d'Enfance ». Produire du mouvement « c'est produire un état tres actif » et « pour produire un tel effet, il faut de l'activité, il faut du mouvement, & à proportion qu'il s'en excite dans nos muscles, à proportion que leurs fibres sont tenduës, nous éprouvons de certains sentimens ; Ces sentimens sont l'effet non d'une resistance & d'une réaction dans le corps au repos, mais d'un mouvement qui s'excite dans le nôtre, & qui y est nécessaire pour servir ensuite à ébranler de grosses masses avec une certaine vitesse »³.

Crousaz note qu'il ne faut pas moins « d'effort » pour mettre en mouvement de « trois mesures » dans un certain temps un navire dans une eau calme que pour le retenir et empêcher son entraînement lorsqu'il est transporté par un courant allant à cette vitesse. Si le premier effort provenait de « la réaction du repos » il faudrait reconnaître dans « l'*Inertie* autant de force, que dans le mouvement, ce qu'on n'oseroit dire, & qu'il seroit facile à refuter ». En effet, selon Crousaz la mise en mouvement du navire nécessite de « soulever au moins un tant soit peu, l'eau qu'il déplace », et plus vite l'agent meut le bateau, plus l'eau se soulève. L'égalité d'effort vient d'une égalité de pesanteur à vaincre : « l'Eau coule par un effet de sa pesanteur », son effort équivaut à « la pression d'un poids déterminé », et empêcher l'entraînement du navire revient à empêcher le mouvement du fluide soit soutenir le poids de l'eau ; dans le cas d'une eau tranquille « il faut vaincre ce même poids, & le soulever avec plus ou moins de vitesse, suivant ce qu'on veut donner au bateau »⁴. Ainsi, « lorsqu'il s'agit de soutenir, ou de vaincre l'effort de la pesanteur & d'en empêcher l'effet, on a à surmonter un obstacle different de la simple *Inertie*. Qu'on fasse consister la nature de la pesanteur en ce qu'on voudra ; son efficace, est une efficace de mouvement, & non de simple paresse à se mouvoir »⁵. Un exemple similaire figure chez Leibniz dans son *Essai de Théodicée* lorsqu'il évoque « l'inertie naturelle des corps » : en considérant des navires différemment chargés et emportés par un courant, les plus lourds vont plus lentement et ceci ne provient pas de leur pesanteur mais de ce que « la matiere est portée originairement à la tardivité, ou à la privation de la vitesse ; non pas pour la diminuer de soy même, car ce seroit agir, mais pour moderer par sa receptivité l'effect de l'impression, quand elle le doit recevoir ». Une même force meut plus lentement un corps plus massif ce dont atteste aussi les règles du choc : « il faut

1 *Ibid.*, p. 261-262.

2 Molières [1745], Leçon IV, Proposition X, p. 272.

3 Crousaz, *Essay sur le mouvement*, p. 151-152.

4 *Ibid.*, p. 246-247.

5 *Ibid.*, p. 248. Voir aussi p. 156-157.

employer deux fois plus de force pour donner une même vitesse à un corps de la même matière, mais deux fois plus grand ; ce qui ne seroit point nécessaire, si la matière étoit absolument indifférente au repos et au mouvement, et si elle n'avoit pas cette inertie naturelle [...] qui luy donne une espèce de répugnance à être mue »¹.

En somme, la réponse de Crousaz consiste ici à signifier que la « *simple paresse à se mouvoir* » est synonyme d'absence d'activité (d'« efficace ») et, conséquemment, renvoie à l'inexistence d'une réaction. Il ne semble pas, ici, que Crousaz critique spécifiquement la conception leibnizienne de l'inertie assimilable à une « répugnance » au mouvement qu'aurait la matière comme le fait le philosophe Samuel Clarke². Face à Leibniz qui évoque cette notion dans ses *Essais de Théodicée*, Clarke remarque que « la force de la Matière, qu'on appelle *Vis inertiae* » est une « Force passive » non pas « comme Mr. Leibniz l'entend après Kepler », et qui serait alors assimilable à cette force par laquelle « la matière résiste au mouvement », mais à cette force « par laquelle la Matière résiste également à tout ce qui pourroit changer l'état où elle est, soit qu'elle se trouve en repos, ou en mouvement »³. Clarke ne considère ici que ce que Leibniz entend par la « force passive de résistance » sans s'attacher au fait que chez Leibniz, au point de vue phénoménal, la matière conserve son état inertiel et réagit⁴. Pour sa part, Crousaz évoque un « paradoxe » (associer les mots « force » et « inertie »), il rejette l'idée d'une « réaction du repos » et que dans « l'*Inertie* [il y ait] autant de force, que dans le mouvement » : il critique bel et bien la *vis inertiae* telle que la conçoit ici Clarke et pas uniquement l'idée d'une inertie réduite à une « répugnance » au mouvement. La matière ne résiste pas en raison de cette « paresse » que lui confère Leibniz ni en vertu d'une force d'inertie newtonienne ; elle ne résiste simplement pas et l'état de repos n'est pas pensé comme élément dynamique. L'exemple ci-dessus du navire pourrait être mis en parallèle avec celui de l'article 26 de la Partie II des *Principes* de Descartes où ce dernier stipule qu'il faut autant d'effort pour mettre en mouvement qu'en repos⁵. Le propos de Parent selon lequel un tel exemple signifie que « le mouvement demande de la force aussi-bien pour être arrêté que pour être produit », et non qu'il faille un effort parce que le repos résiste, pourrait être prêté à Crousaz.

L'interaction entre corps semble ainsi régie selon les schémas de l'*actio-passio*, le corps immobile ne développant pas de réaction mais subissant seulement. Il s'agit finalement de proportionner l'effet à sa cause, comme le stipule Malebranche, celui-là n'affectant en rien celle-ci, la quantité de mouvement se conservant ; une telle conclusion semble applicable aux écrits de Parent, Varignon et Saulmon évoqués ci-dessus. Une telle conception se retrouve dans les années 1750 dans un débat opposant Henry Home à John Stewart membres de la Société d'Edimbourg, débat dont figurent des extraits dans le *Journal britannique* de 1754. Le premier soutient l'activité de la matière attestée notamment par la « *vis insita* » ou « *vis inertiae* » comme pouvoir de résister aux changements d'états et fondant l'état inertiel : « cette propriété n'est pas une simple inactivité, mais une véritable action, puisqu'elle diminue la force du corps, qui agissant sur l'autre le fait changer d'état. Si le dernier étoit absolument passif, il ne feroit aucune résistance, mais il se laisseroit aller à chaque impulsion, sans diminuer la force du corps qui le pousse »⁶. Pour sa part, Stewart considère la matière comme

1 Leibniz, *Essais de Théodicée*, p. 119-120.

2 Sur ce sens képlérien de l'inertie chez Leibniz, voir Partie I, Chapitre I.

3 Pierre Des Maizeaux, *Recueil de diverses Pièces, sur la Philosophie, la Religion Naturelle, l'Histoire, les Mathématiques, &c. Par Mrs. Leibniz, Clarke, Newton, & autres Auteurs célèbres*, tome I, Amsterdam, Duvillard et Changuion, 1720, p. 136 et p. 181-182.

4 Sur cette lecture de Clarke et de Newton de l'inertie leibnizienne, voir Berstein, « Passivity and Inertia in Leibniz's Dynamics »

5 Voir Partie I, Chapitre I.

6 Matthew Matty, *Essays and observations physical and literary, read before a Society in Edinburgh, and published by them*, dans *Journal Britannique*, Mai et Juin 1754, t. XIV, La Haye, H. Scheurleer, 1754, p. 251-252. Activité attestée aussi par les opérations chimiques ou la gravitation. On rejoint ici la notion d'activité telle que présente dans Newton,

passive et cette inactivité fait qu'elle ne peut pas changer d'elle-même son état inertiel. Dans ces conditions, si un corps rencontre un autre immobile, et donc sans activité, d'où vient que le premier perd du mouvement ? Pour Stewart, « s'il faut un certain degré de force pour mouvoir un corps en repos avec une vitesse déterminée, ce n'est pas à proprement parler que ce corps résiste à l'action qui le meut, c'est que tout effet demande une cause, & une cause qui lui soit proportionnée » ; les deux corps après le choc se meuvent ensemble et la quantité de mouvement se conserve d'où la perte de vitesse du mobile incident¹.

Dortous de Mairan, Saulmon et le « mécanisme caché »

L'académicien Jean-Jacques Dortous de Mairan ne conçoit pas l'inertie comme une propriété de la matière et il y a ici un rapprochement à faire entre ce concept et la gravitation newtonienne. Même si dans certaines lettres il estime que pour Newton la gravité est une propriété de la matière², il reconnaît la loi de gravitation comme vérité de fait incontestable³ et remarque que Newton la considère avant tout comme une loi mathématique⁴. Pour autant, elle est effet dont la philosophie mécanique doit rendre raison. Ainsi, tout en accordant une « attraction de fait », il récuse « une attraction de droit » et écrit dans une lettre à Gabriel Cramer « j'ignore le détail des agents mécaniques qui se cachent sous les apparences de l'attraction, mais je ne les y crois pas moins »⁵ ; dans son traité sur l'aurore boréale, il soutient que la gravitation n'est pas une « qualité essentielle » mais un « accident » qui résulte « d'une construction primitive du monde » dans laquelle un corps céleste est « poussé par une Force ou un fluide invisible quelconque »⁶. Dans la *Préface* de l'édition de 1749 de sa *Dissertation sur la glace* Mairan fait de Newton un quasi disciple de Malebranche, l'anglais n'ayant finalement pu qu'adopter les petits tourbillons⁷. Enfin, comme il le note dans son éloge de Privat de Molières, en supposant que Descartes revienne au monde, ce dernier adopterait les « ingénieuses recherches [de Newton] sur la lumière & les couleurs, & même ses attractions, en tant qu'elles se manifestent dans leurs effets, & qu'elles nous cachent un mécanisme trop subtil ou trop compliqué dans leur cause ; car enfin, dirait-il, le Mécanisme est certainement par-tout où nous le voyons, mais nous ne saurions affirmer sans beaucoup de témérité, qu'il n'est pas là où nous n'avons pû encore le démêler »⁸. Le « mécanisme caché » renvoie donc à un fluide subtil extrinsèque au corps et, pour la gravitation, au système des tourbillons.

Dans l'édition de 1749 de la *Dissertation sur la glace*, Mairan écrit « que tout corps [...] imaginé sur un plan horizontal infiniment poli, exige d'autant plus de force pour

Traité d'optique, trad. Pierre Coste, Amsterdam, Pierre Humbert, 1720, en particulier dans la « Question 31 », p. 530-583. Voir Henry More, *Of the Laws of Motion*, p. 1-69 et John Stewart, *Some Remarks on the Laws of Motion, and the Inertia of Matter*, p. 70-141 dans *Essays and Observations Physical and Literary, read before a Society of Edinburgh and published by them*, vol. 1, Edinburgh, G. Hamilton et J. Balfour, 1754.

- 1 Matty, *Essays and observations*, p. 253-254. Ironiquement, en réagissant à cet argument de Stewart, le journaliste note « si l'on nommoit résistance dans un effet, ce qui rend un certain degré de force nécessaire pour le produire, que deviendroit la dispute ? ».
- 2 Lettre à Firmin Abauzit des 10 juin et 30 octobre 1717, citées par McNiven Hine, « Dortous de Mairan, the 'Cartonian' », p. 169.
- 3 Lettre à Cramer du 16 novembre 1732, citée par Niven Hine, « Dortous de Mairan, the 'Cartonian' », p. 170.
- 4 Jean Jacques Dortous de Mairan, *Sur la figure de la Terre*, HARS 1742 (1745), p. 100.
- 5 Lettre à Cramer du 31 août 1738 citée par McNiven Hine, « Dortous de Mairan, the 'Cartonian' », p. 170.
- 6 Dortous de Mairan, *Traité Physique et Historique de l'Aurore Boréale. Suite des Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, année 1731, Paris, Imprimerie Royale, 1733, p. 87-88.
- 7 Dortous de Mairan, *Dissertation sur la Glace ou explication physique de la formation de la Glace, & de ses divers phénomènes*, Paris, Imprimerie Royale, 1749 (4^e éd.), p. xxvj-xxvij. Sur Dortous de Mairan et les petits tourbillons, voir Partie II, Chapitre II.
- 8 Mairan, *Eloge de M. l'abbé de Molières*, HARS 1742 (1745), p. 201.

être mû avec une certaine vitesse qu'il a plus de masse. C'est ce qu'on appelle *force d'inertie*, qu'elle qu'en soit la cause dont nous n'avons point à nous embarrasser ici, non plus que celle de la pesanteur »¹. Malgré tout, comme la pesanteur, on peut en trouver la cause. Ainsi, en 1728, après avoir noté que « toute Tendance, toute *sollicitation* » au mouvement telles que la pesanteur, les attractions magnétiques et électriques etc. est « l'effet de quelque mouvement », il demande si « l'Inertie de la matiere [...] ne peut [...] pas à la rigueur être conçue comme l'effet de quelque Mouvement ? Du moins & incontestablement doit-elle être conçue comme une Force actuelle, qui agit par quelque Mécanisme qui nous est caché »². Se retrouve cette idée du « mécanisme caché », évoqué plus haut notamment pour l'optique, susceptible de rendre raison de cette résistance étant donné que la matière ne renferme aucune idée de force. Au fond, la reconnaissance au niveau phénoménal d'une résistance à une mise en mouvement ne saurait relever d'une force interne à la matière ; elle ne relève manifestement pas non plus d'un décret divin attribuant forces au mouvement et au repos puisque Mairan évoque ce recours au « mécanisme caché » soit à un mouvement³. Pour Malebranche, dans ses études sur les chocs, cette résistance provient d'un autre mouvement à savoir celui de la matière subtile et de l'air. Les références de Mairan à Malebranche sont nombreuses⁴. Mairan conçoit le repos comme la négation du mouvement lui-même modification positive de l'étendue ; le repos n'a pas de cause, il se voit qualifié de « cause *déficiente* » et ne consiste que dans la cessation de son contraire : « le mouvement est une modification réelle & positive de l'étendue, le repos n'est que la negation du mouvement ; ainsi le repos n'a point proprement de cause, ou il n'a qu'une cause deficiente qui consiste dans l'affoiblissement, ou dans la cessation de celle de son contraire »⁵. Mairan précise aussi que « si l'on veut raisonner sur des notions claires & distinctes, on ne conçoit pas que les corps puissent avoir d'autre force ni d'autre action que celle qu'ils tirent de leur mouvement »⁶ ; ce passage, et celui qui le suit immédiatement qui concerne l'origine de la cohésion des corps portent des notes de bas de pages invitant le lecteur à consulter « Le P. Malebr. 16 Eclairciss. sur la rech. de la verite » et « Rech. de la ver. Liv. 6. ch. dern. », ce chapitre où Malebranche argumente contre la force de repos⁷. L'inertie ne résulterait pas de forces inhérentes ou d'une loi divine s'exerçant identiquement pour les deux états, mais d'un mouvement d'un fluide extérieur ainsi que de l'air d'après un texte de 1723⁸. Comme la gravité, l'inertie s'explique et il faut alors reconnaître une dissymétrie entre les états de mouvement et de repos.

Nous avons vu, ci-dessus, que Saulmon discutait en 1721 l'explication malebranchiste de la dureté. La même année, il publie une étude sur les règles du choc qui implique aussi

1 Mairan, *Dissertation sur la Glace*, p. 24.

2 Mairan, *Dissertation sur l'estimation & la mesure des forces motrices des corps*, MARS 1728 (1730), p. 39.

3 Ce décret est prôné par Traubaud pour fonder la force d'inertie ; nous revenons sur ce point dans ce chapitre.

4 Voir la Partie II de ce livre. Voir aussi Schmit, « Les dynamiques de Jean-Jacques Dortous de Mairan »

5 Mairan, *Dissertation sur la Glace ou explication physique de la formation de la Glace, & de ses divers Phénomènes, qui a remporté le prix à l'Academie Royale des belles Lettres, Sciences & Arts de Bordeaux, pour 1716*, Bordeaux, R. Brun, 1716, p. 110.

6 *Ibid.*, p. 9.

7 *Ibid.*, p. 9-10. Outre le ce chapitre IX, Mairan se réfère donc ici aussi à l'*Eclaircissement XVI* de *De la recherche de la vérité* dans lequel Malebranche développe sa théorie des petits tourbillons qui expliquent notamment la cohésion des corps. Voir Partie II, Chapitre I.

8 Sur ce rôle de l'air, voir Mairan, *Suite des recherches physico-mathématiques sur la réflexion des corps*, MARS 1723 (1753), p. 349 : « quelle que soit la cause de cette résistance [celle du corps au repos à être mis en mouvement], ce n'est pas ici le lieu de la chercher ; elle existe, & j'ose dire que sans elle les loix de la communication des mouvemens par le choc des corps à raison de leurs masses, seroient inintelligibles. L'air ambiant résiste aussi, & d'autant plus que le mouvement imprimé par le choc est plus subit, il faut donc concevoir que le ressort de deux boules est bandé avant que la masse totale de celle qui étoit en repos ait cédé au mouvement de celle qui vient la frapper ».

probablement ce « mécanisme caché » visant à rendre compte de l'effet de l'inertie. Après avoir établi des règles de collisions élastiques, Saulmon précise que sa théorie

ne suppose pas qu'une même quantité de mouvement soit employée toute entière en même temps, & à bander le ressort, & à mouvoir les corps en ligne droite selon la direction du plus fort dans l'instant que le ressort acheve d'être bandé, & que les corps tendent à se mouvoir d'une vitesse commune. Elle ne suppose pas non plus aucune propriété des mouvements ou des vitesses des corps après le choc, connue par l'expérience, elle en est indépendante. Elle ne suppose pas non plus que la masse de la matière ait par elle-même une force pour résister & donner du mouvement, ou que le repos en ait une, car tout cela paraît incroyable, à cause qu'une force est le produit de la masse par la vitesse, & que la masse n'a point par elle-même une vitesse, & que le repos n'en a pas non plus. La démonstration est tirée des causes primitives du ressort. Elle ne suppose en ces corps d'autres forces étrangères que les chocs perpétuels ou d'une matière subtile coulante en leurs pores, ou d'un fluide environnant¹.

La première partie de la citation fait allusion à des études du choc élastique où la quantité de mouvement d'un mobile heurtant un corps au repos sert à la fois à comprimer et mouvoir les deux corps d'un mouvement commun, comme s'ils étaient inélastiques. Chez Saulmon, la formulation des règles est indissociable de la recherche de « la cause physique » du ressort. Il modélise le corps élastique par un corps dur auquel on attache un tuyau où circule de l'eau (sensée illustrer le comportement de la matière subtile) : celle-ci « aura selon sa nature deux directions, l'une à se mouvoir directement selon la direction du tuyau, & l'autre à se mouvoir latéralement, en faisant des efforts continuels contre les parois intérieures ». Lors d'un choc, en supposant seulement un corps au repos munit d'un tel tuyau, celui-ci se rétrécit et l'eau fait un effort égal et opposé (les corps reçoivent des « forces égales » et opposées) sur chacun des corps jusqu'à annulation de la vitesse respective ; dans la phase de restitution, « quand le tuyau acheve d'avoir repris sa première figure, l'eau a encore communiqué aux deux corps des forces égales en sens contraires, & égales aux deux premières » (*ibid.*, p. 127-128). Pour autant, lorsqu'un corps en rencontre un autre immobile Saulmon n'évoque la compression mutuelle que du fait qu'« un corps dont le ressort est parfait, ne peut communiquer du mouvement en ligne droite, qu'il ne s'applatisse, à cause qu'il participe en quelque sorte de la nature du fluide, qui ne peut pousser sans céder » (*ibid.*, p. 135). Il n'explicite pas davantage la raison de cet aplatissement lequel requiert pourtant une résistance de la part du corps immobile.

Saulmon souligne l'accord entre ses formules des chocs élastiques et celles que « M. Newton & Keil ont trouvées à leurs manières » (*ibid.*, p. 134). Chez ces auteurs, l'étude des chocs s'inscrit dans le cadre conceptuel de la mécanique newtonienne, impliquant donc la *vis inertiae*².

ABSENCE D'INERTIE ET CAUSALITE

Ce qui suit revient dans un premier temps sur la notion d'indifférence au tournant des XVII^e et XVIII^e siècles en soulignant qu'elle peut être conciliée ou non avec la

1 Saulmon, *Du choc des corps à ressort*, MARS 1721 (1723), p. 138-139.

2 Pour les trois lois de Newton et en particulier la définition de la *vis inertiae*, John Keill, *An Introduction to Natural Philosophy : or, Philosophical Lectures Read in the University of Oxford, Anno Dom. 1700. To which are Added, the Demonstrations of Monsieur Huygens's Theorems, concerning the Centrifugal Force and Circular Motion*, Londres, William et John Innys, John Osborn, 1720 (traduction de la 1^{re} éd. latine de 1700). Chez Keill (1671-1721) les chocs sont fondés sur la loi d'égalité entre l'action et la réaction donnant pour corollaire la conservation de la quantité de mouvement ; l'identité des compressions affectant les chocs élastiques implique la conservation de la vitesse relative. La combinaison de ces deux conservations permet à Keill de trouver les règles de collisions élastiques lesquelles sont ainsi fondées sur la dynamique newtonienne. Voir p. 133-161 pour les lois, la conservation de la quantité de mouvement et en particulier p. 134-135 pour la *vis inertiae* ; p. 188 pour la vitesse relative ; p. 188-195 pour les règles de collisions. Newton évoque des règles du choc dans le Corollaire III de sa troisième loi du mouvement sur l'égalité entre l'action et la réaction, et dans le « Scholie » des lois, voir Newton, *Principes*, TMC, Axiomes, p. 22-24 et p. 27-35.

conceptualisation d'une résistance de la matière au repos – qu'elles dérivent de la matière en tant que telle et/ou de l'action de Dieu – ; l'évocation de cette diversité permet de spécifier l'originalité des prises de positions de Malebranche. Puis nous montrons que des savants font un lien direct entre le rejet malebranchiste de la force des corps au repos et l'exclusion de la force d'inertie. Nous remarquons aussi le lien que peut entretenir cette thèse de Malebranche et l'occasionalisme avec une conception nomologique de la causalité. L'examen du concept de force d'inertie est alors un exemple permettant d'interroger l'éventuel lien de la critique malebranchiste de Descartes et de l'occasionalisme à la critique de la causalité menée par D'Alembert.

INDIFFERENCE ET INERTIE

Nous avons vu que Pardies fait reposer son analyse du choc sur l'impénétrabilité et l'indifférence. Il associe cette dernière notion à une absence de propriétés dynamiques de la matière : un mobile ne perd pas de vitesse lorsqu'il rencontre un corps au repos car ce dernier ne résiste pas ; Pardies n'introduit pas une grandeur susceptible de rendre compte de différents degrés *de* résistances – la masse – car *la* résistance n'existe pas¹.

Aux alentours des années 1670, Leibniz définit semblablement l'indifférence puis, finalement, rejette la notion lorsqu'il se livre à un examen critique de l'essence de la matière selon Descartes. L'indifférence s'accorde avec une analyse où les mobiles se réduisent à des données purement géométriques, mais la matière ne se définit pas par sa seule étendue ; l'indifférence s'oppose alors à ce qui s'observe dans la « nature » et qui correspond à l'effet de l'inertie². Pour Leibniz, « si l'essence du corps consistoit dans l'étendue, cette étendue seule devoit suffire pour rendre raison de toutes les proprietez des corps. Mais cela n'est point ». En effet,

si le corps *A* en mouvement rencontre le corps *B* en repos, il est clair que si le corps *B* estoit indifferent au mouvement ou au repos, il se laisseroit pousser par le corps *A* sans lui resister, & sans diminuer la vitesse, ou changer la direction du corps *A* ; & après le concours, *A* continueroit son chemin, & *B* iroit avec lui de compagnie en le devançant.

Mais, dans « la nature », *B* diminue le mouvement de *A*. Aussi, « s'il n'y avoit dans les corps que l'étenduë [...] cette étendue seroit entierement indifferente à l'égard de ce changement, & les résultats du concours des corps s'expliqueroient par la seule composition geometrique des mouvemens ». Puisque cela n'est pas le cas,

1 Voir Partie I, Chapitre II.

2 Voir Leibniz, *De Rationibus motus*, dans *Sämtliche Schriften und Briefe*, hrsg. v. d. Akademie der Wissenschaften der DDR, série VI, t. II, Berlin, Akademie-Verlag, 1990, p. 159-165 (texte de août ou septembre 1669) cité dans Fichant, *La réforme de la dynamique*, p. 35 : « si un corps heurte un corps au repos, le tout qu'ils composent sera mû à la même vitesse et la même direction que le corps en mouvement ». Voir Leibniz, *Théorie du mouvement abstrait*, p. 90 : « si un corps heurte un autre corps au repos ou qui le rencontre plus lentement en droite ligne ou qui le précède plus lentement, il l'entraîne avec lui (c'est-à-dire le meut dans la même direction) avec une vitesse égale à l'excès de la vitesse la plus rapide sur la vitesse la plus lente ». Voir aussi *Summa Hypotheses physicae novae*, dans *Sämtliche Schriften und Briefe*, série VI, t. II, p. 336-339 (datée de la seconde moitié de 1671) cité dans Fichant, *La réforme de la dynamique*, p. 37 : on ne peut pas déduire une « phronomie universelle » de règles de collisions de corps durs qui impliquent le rôle du milieu et l'élasticité mais, malgré tout, énoncées dans le vide ou dans un milieu inopérant, on trouve que « si un corps en heurte un autre en repos, il l'entraîne avec lui avec la même vitesse dans la même direction ». Fichant note qu'« en l'absence de toute considération de la masse ou de ce que Leibniz désignera bientôt comme l'inertie de la matière, le corps qui rattrape son devancier n'est en rien ralenti et conserve toute sa vitesse ; les conatus de même sens s'ajoutent sans restriction aucune, de sorte que le corps le plus lent conserve toute sa vitesse antérieure et reçoit en outre, comme il l'aurait fait s'il était en repos, toute celle de son poursuivant ». En supposant un corps au repos « indifférent au mouvement ou au repos », « celui qui est en mouvement emporterait avec lui celui qui est en repos, sans recevoir aucune diminution de sa vitesse, et sans qu'en tout ceci la grandeur, égalité ou inégalité des deux corps puisse rien changer ; ce qui est entièrement irréconciliable avec les expériences ».

tout cela fait connoître, qu'il y a dans la matiere quelque autre chose, que ce qui est purement geometrique, c'est à dire que l'étendue & son changement tout nud. Et à la bien considerer, on s'apperçoit qu'il y faut joindre quelque notion superieure ou metaphysique, sçavoir celle de la substance, action, & force ; & ces notions portent que tout ce qui pâtit doit agir reciproquement, & que tout ce qui agit, doit pâtir quelque réaction ; & par consequent qu'un corps en repos ne doit estre emporté par un autre en mouvement sans changer quelque chose de la direction & de la vitesse de l'agent¹.

Nous avons remarqué que Lamy s'appuie sur la notion d'indifférence telle que Malebranche l'utilise pour dénoncer une incohérence dans la réflexion de l'oratorien : si la matière est indifférente, elle peut prendre également l'état de repos et de mouvement, et alors on ne peut pas dire que par la « volonté » de Dieu créatrice de la matière cette dernière soit au repos ; conséquemment, le mouvement ne nécessite pas une volonté supplémentaire par rapport au repos – celle qui crée la matière puis celle qui crée le mouvement – et ne jouit pas d'un privilège particulier. Lamy accorde au repos la possibilité d'agir et lui confère des « propriétés ». Nous retrouvons là une conception proche de Descartes bien que Lamy ne réfute pas explicitement la règle 4 des *Principes* et le rôle que Descartes fait jouer à la force de repos, comme c'est explicitement le cas chez Régis.

Chez ce dernier, l'étendue comme essence de la matière n'exclut pas une perte de mouvement lors du choc d'un mobile contre un corps au repos laquelle résulte du principe de conservation de la quantité de mouvement : « la quantité du mouvement & du repos est déterminée, & [...] tout le changement qui luy arrive n'est qu'à l'égard des corps particuliers, qui sont mis successivement en mouvement & en repos les uns par les autres, mais toujours en même quantité » ; un corps *A* en mouvement choquant un autre *C*, « le corps *A* ne peut pousser le corps *C*, sans luy donner du mouvement, ni luy donner du mouvement sans en perdre autant qu'il luy en donne »². Ainsi, « un Philosophe moderne » – un astérisque renvoie à une note précisant « le P. Pardies dans son traité du Mouvement local » – prétend, en l'absence « de pesanteur & sans légéreté » qu'« il ne faut pas plus de force pour mouvoir un grand corps, que pour en mouvoir un petit, & que la même force suffit pour mouvoir également vite, par ce que ni l'un ni l'autre ne font aucune résistance au mouvement » et, toujours selon Pardies, « pour déterminer la quantité respective du mouvement des corps, il est inutile de considérer leur grandeur, & [...] il faut seulement avoir égard à leur vitesse ». Mais, écrit Régis,

un corps n'en peut mouvoir un autre sans luy communiquer de sa force, & [...] une force égale partagée entre deux corps égaux ne les peut faire mouvoir chacun qu'avec une vitesse de la moitié plus petite. Ainsi, si les corps estoient sans pesanteur & sans légéreté, nous croyons bien que la moindre force seroit capable de les faire mouvoir, mais nous ne voyons pas qu'elle pût suffire pour les faire mouvoir aussi vite que les feroit mouvoir une autre force plus grande, ni que la force qui feroit mouvoir un seul corps, en pût faire mouvoir plusieurs autres en même temps avec la même vitesse (*ibid.*, p. 91-92).

Il souligne alors le caractère mutuel de la percussion, que les deux corps soient mobiles ou seulement un des deux³, percussion résultant de l'impénétrabilité de la matière : l'impénétrabilité est « une propriété essentielle » de la matière qui résulte de l'étendue (*ibid.*, p. 16-17) ; les changements de mouvement proviennent de ce que « le monde est plein, que la matiere est impenetrable, & qu'il y a des corps auprès de nous qui sont en

1 Pour toutes ces citations, voir Leibniz, « Extrait d'une Lettre de Mr. de Leibniz, sur la question, si l'essence des corps consiste dans l'étendue », *Journal des Sçavans*, Paris, Jean Cusson, 1691, 18 juin 1691, p. 259-261.

2 Régis, *Système de Philosophie*, t. II, p. 98-99.

3 *Ibid.*, p. 119-120 : « soit que les deux corps se meuvent, soit qu'il n'y en ait qu'un qui se meuve, & qui frappe, tandis que l'autre est immobile, & qu'il reçoit le coup, la percussion est toujours mutuelle & également reçue dans l'un & dans l'autre corps ». En considérant des clous à demi fichés dans des boules, Régis note que lors de la collision, « il n'y a point de raison qui nous puisse faire croire » qu'ils ne soient pas également enfoncés. Pour cet exemple chez Pardies, voir Partie I, Chapitre I.

mouvement, & d'autres qui sont en repos » (*ibid.*, p. 97-98). La possibilité d'une mise en mouvement d'un corps au repos provient de l'indifférence de la matière susceptible de prendre également chacun de ces deux états : un corps *A* rencontrant *C* « égal » et au « repos », il faut que *A* « pousse devant soy » *C* ou qu'il se « réfléchisse » : « mais il ne se réfléchira pas, parce que nous supposons que le corps *C*, est de soy indifférent à se mouvoir ou demeurer en repos » (*ibid.*, p. 98). Ainsi, lors de son explication de la dureté qu'il attribue à la pression de l'air et de la matière subtile, Régis remarque que « la matiere estant d'elle-même indifférente à l'un ou à l'autre [les états de mouvement et de repos], elle ne peut pas apporter de soy aucune résistance à sa division ; d'où il s'ensuit que si elle résiste, cette résistance vient de quelque cause extérieure »¹. D'après le contexte, le mot « résistance » doit s'entendre ici comme une absence totale de mise en mouvement. Mais si l'indifférence, comme l'entend Régis, implique le refus de la règle 4 du choc de Descartes, cela ne signifie pas que dans une telle configuration de choc le corps immobile ne s'oppose pas à une mise en mouvement.

En effet, pour Régis l'action des corps les uns sur les autres provient d'une persistance dans un état². Cette dernière concerne aussi bien le mouvement que le repos et passe par la considération de forces de repos et de mouvement : « l'application successive active dans laquelle consiste le mouvement, dépend de quelque cause efficiente qui l'a produit, mais on a beaucoup de peine à croire que l'application constante, ou l'application successive, mais passive, dans laquelle consiste le repos, en dépende aussi ». Cependant, « il y a de la force & de l'action dans le repos comme dans le mouvement ; car si nous considérons bien la nature du repos & du mouvement, nous trouverons que le mouvement peut estre aussi appelé une cessation du repos, que le repos est appelé une cessation du mouvement » (*ibid.*, p. 64-66). Les corps en repos « agissent » autant que ceux en mouvement :

il est évident que les corps qui sont en repos agissent autant d'eux-mêmes que ceux qui sont en mouvement : car si d'un côté les corps qui se meuvent agissent sur ceux qui sont en repos en les mouvant, de l'autre les corps qui sont en repos agissent sur ceux qui sont en mouvement en les arrêtant ; ce qui fait voir que du côté des corps, l'action du mouvement n'est pas plus positive que celle du repos, puis que tout ce qu'il y a d'action réelle & positive dans les corps, n'est autre chose que la volonté que Dieu a de les mouvoir, ou de les tenir en repos (*ibid.*, p. 72-73).

Le caractère mutuel de la percussion trouve ainsi son fondement dans cette équivalence de la volonté divine à conserver également les états. Aussi à l'instar d'une quantité de mouvement existe-t-il une « quantité du repos » :

ceux qui ne considèrent le repos que comme une simple privation du mouvement, ne sont pas obligés à déterminer sa quantité, parce qu'une privation n'a aucune quantité qui puisse être déterminée ; mais pour nous qui attribuons de la réalité au repos comme au mouvement, nous sommes obligés après avoir déterminé la quantité du mouvement, à déterminer celle du repos ; ce que nous faisons en effet d'une manière à peu près semblable. Car comme nous avons fait consister la quantité respective du mouvement des corps dans le produit qui résulte de leur grandeur multipliée par leur vitesse, nous faisons consister la quantité respective du repos des corps qui dépend de la pesanteur dans le produit de leur grandeur multipliée par leur poids (*ibid.*, p. 90-91)³.

1 *Ibid.*, t. III, p. 364-365. Pour l'explication de la dureté, voir p. 349-359.

2 Régis écrit que « chaque chose persiste d'elle-même à demeurer dans l'état où elle est, si rien ne l'en empêche », et il précise ensuite que le « corps qui se meut, fait effort pour se mouvoir en ligne droite », *ibid.*, t. II, p. 97 et p. 136. Sitôt la loi de persistance énoncée, Régis mentionne que les changements de mouvement en sont la conséquence puisque tout étant plein les corps impénétrables ne peuvent pas continuer leurs mouvements initiaux, *ibid.*, p. 97.

3 Comme le suggère les règles des chocs élastiques, cette « grandeur » revient à prendre en compte le poids des corps, voir p. 205-207.

Les règles du choc énoncées par Régis reposent sur le fait que « chaque chose persiste d'elle-même à demeurer dans l'état où elle se trouve », ceci impliquant qu'« *ils* [les corps] *ne se communiquent leur mouvement qu'à proportion de la grandeur de ces corps* » (*ibid.*, p. 134). En effet, « il est certain qu'un corps qui se meut, retient bien plus l'estat où il est, lors qu'il communique aux corps qu'il rencontre du mouvement à proportion de leur grandeur, que s'il leur en communiquoit dans toute autre proportion » : si *A* avec six degrés de mouvement heurte *B* égal et au repos, *A* « pour conserver son estat autant qu'il est possible, ne doit communiquer que trois degrés de mouvement » (*ibid.*, p. 115-117)¹. Mais un corps au repos persiste aussi dans son état et fait aussi perdre du mouvement à un mobile incident à « proportion » de sa grandeur : la configuration du choc de la règle 4 de Descartes donne alors lieu chez Régis à un tout autre résultat que celui figurant dans les *Principes*, bien que les deux analyses soient basées sur la même idée d'une équivalence entre repos et mouvement². Par ailleurs, Régis reconduit une expérience de Mariotte concernant la plus grande résistance qu'offre un corps plus pesant qu'un autre à une mise en mouvement : il exclut parmi ces causes la résistance de l'air et la pesanteur du corps et attribue « la véritable cause de cet effet [a] la plus grande quantité de matiere propre »³. Ainsi, la notion d'indifférence n'exclut pas la reconnaissance d'un changement de mouvement affectant chacun des corps entrant en collision par la considération des forces de mouvement et de repos cartésiennes, cette force de repos ne servant cependant plus à justifier une résistance absolue de la règle 4 des *Principes*.

Pour sa part, Keill offre pour témoignage que l'« indifférence » s'intègre au cadre conceptuel de la mécanique newtonienne et ne s'oppose pas ainsi à la force d'inertie. Après un énoncé du principe d'inertie, il précise qu'il existe dans les corps une « certaine force ou plutôt inactivité » par laquelle ils s'opposent aux changements d'états, une *vis inertiae* qui fait qu'il ne faut pas moins de force pour mettre un corps en mouvement qu'en repos :

There is besides in all Bodies a certain Force, or rather Inactivity, whereby they oppose every Change ; whence it is, that they are very difficultly put out of their State, whatever it is : but that Force is the same in moving Bodies, as in those at Rest, nor do Bodies less resist the Action, whereby they are brought from Motion to Rest, than that whereby they pass from Rest to Motion ; that is, there is not required a less Force to put a stop to the Motion of any Body, than was before necessary to impress that Motion on the same Body. Whence, since *Vis Inertiae* or Inactivity of Matter always equally resists equal Changes, it will not be less powerful to continue a Body in Motion, which has begun to move, than to preserve a quiescent Body in the same State of Rest⁴.

Il y a en plus dans tous les corps une certaine force, ou plutôt inactivité, par laquelle ils s'opposent à chaque changement ; d'où le fait qu'ils sont très difficilement tirés de leur état, quel qu'il soit : mais cette force est la même dans les corps en mouvement comme dans ceux au repos, et les corps ne résistent pas moins à l'action qui les fait passer du mouvement au repos qu'à celle qui les fait passer du repos au mouvement : c'est-à-dire, qu'il n'est pas requis moins de force pour mettre fin au mouvement d'un corps, que ce qui a été requis pour mettre en mouvement ce même corps. D'où, puisque la *Vis Inertiae* ou l'inactivité de la matière résiste toujours également aux mêmes changements, il ne sera pas moins requis de force pour un corps afin de continuer un mouvement une fois qu'il l'a commencé que de préserver dans le même état de repos.

-
- 1 Car si *A* communique 4 degrés de mouvement il s'éloigne de son état initial, et s'il en communique 2, il s'en éloigne davantage encore car, selon Régis, les 4 degrés qui lui restent le feraient aller plus vite que *B* ce qui obligerait *A* à se réfléchir soit à changer de détermination.
 - 2 Régis n'énonce pas de règle du choc de corps inélastiques impliquant un corps plus « grand » qu'un autre et au repos. Mais ces conditions apparaissent lors d'une collision élastique : Régis suppose dans un premier temps ces corps inélastiques, et alors le corps au repos est mu, puis fait ensuite intervenir le « ressort » des corps. *Ibid.*, p. 205-207.
 - 3 *Ibid.*, p. 191 : « si un corps en repos & suspendu est choqué horizontalement par un autre corps plus pesant, il résistera moins au mouvement, & le corps choquant recevra moins d'impression par le choc, que si le corps en repos estoit également pesant. Et plus le corps en repos sera pesant, plus il résistera au mouvement, pourvu que le corps choquant demeure toujours le même, & qu'il rencontre toujours l'autre avec la même vitesse ». Sur l'examen de cette expérience de Mariotte par Malebranche, voir le Chapitre précédent.
 - 4 Keill, *An Introduction to Natural Philosophy*, p. 134-135.

Il remarque que certains philosophes considèrent les corps indifférents au mouvement et au repos et ajoute :

but by this Indifference they do not, I believe, mean such a Disposition in Bodies, whereby they do not in the least resist Rest or Motion : for on this Supposition it would follow, that any Body, however great, and moved with the swiftest velocity, might be stopped by any the smallest Force ; or if the great Body was at Rest, it might be moved by any Body, however small, without the least loss of Velocity in the impelling Body : that is, any small Body impinging on a greater one, would carry that greater Body along with it, without the least Loss of its Motion ; and each Body after the Impulse would be jointly carried along with that Celerity, that the small Body had at first, which, we all know, is absurd (*ibid.*, p. 135).

mais par cette indifférence ils n'entendent pas, je crois, une telle disposition dans les corps par laquelle ils ne résistent pas au repos ou au mouvement : car de cette supposition il s'ensuivrait que tout corps, aussi grand soit-il et mû avec la plus grande vitesse soit-il, pourrait être arrêté par la plus petite force ; ou si le grand corps était au repos, il pourrait être mû par tout corps, aussi petit soit-il, sans la moindre perte de vitesse dans le mobile incident : c'est-à-dire que chaque petit corps qui en heurte un plus grand l'emporterait avec lui sans la moindre perte de mouvement ; et chaque corps après l'impulsion serait porté conjointement avec la vitesse que le petit corps avait au départ, ce qui, nous le savons, est absurde.

Keill conclut ce passage en donnant sa définition de l'« indifférence » :

this Indifference therefore is not placed in a Non-resistance to Motion from a State of Rest, or to Rest from a State of Motion ; but in this only, that a Body of its own nature is not more propense to Motion than to Rest, nor more resists to pass from a State of Rest to Motion, than to return again from that Motion to the same State of Rest : besides, any quiescent Body may be moved by any Force, and an equal Force acting in a contrary Direction, will be able to destroy that Motion (*ibid.*, p. 136).

cette indifférence ne consiste donc pas en une absence de résistance à la mise en mouvement à partir d'un état de repos, ou à la mise en repos d'un corps en mouvement, mais c'est simplement qu'un corps de sa propre nature n'a pas plus de propension au mouvement qu'au repos, ni plus résistance à passer d'un état de repos à un mouvement, que de revenir de ce mouvement au même état de repos : de plus, tout corps au repos peut être mû par toute force et une force équivalente agissant dans une direction contraire pourra détruire ce mouvement.

L'indifférence renvoie ainsi à l'absence d'états privilégiés et la possibilité qu'un corps prenne également chacun des deux états, tout en ajoutant qu'il oppose une même résistance lors du passage d'un état à l'autre.

Dans son usage de la notion d'« indifférence », Malebranche semble se placer à mi-chemin des définitions avancées par Pardies et Leibniz, d'une part, et Régis et Keill, d'autre part. Selon Leibniz, l'identification de la matière à l'étendue conduit à son indifférence et, dans leur choc, les mobiles ne perdent pas de vitesse : dans sa *Théorie du mouvement abstrait*, il revendique une étude du mouvement sur des considérations strictement géométriques tout en étant conscient que ceci ne répond pas aux phénomènes physiques réels¹. Lorsque

1 Voir Duchesneau, *La dynamique de Leibniz*, p. 38 : « 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. 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 ». L'auteur note que « ce qui dans la théorie du mouvement abstrait se trouvera justifié par des raisons géométriques, s'appliquera *ipso facto* à la réalité physique parce que l'essence des objets physiques correspond à la seule possibilité de leur production géométrique, même si cette possibilité ne suffit pas à les produire sans une raison suffisante de l'ordre qu'ils réalisent *in concreto* », *ibid.*, p. 39. En l'occurrence cet « ordre » est réalisé dans le système du monde par la circulation de l'éther qui vient conférer l'élasticité aux corps. En effet, en passant de la mécanique de la théorie abstraite à l'explication des phénomènes physiques, « il convient de supposer un aménagement divin qui maintienne les effets suivant le rapport de plus grande convenance ou de plus grand ordre », *ibid.*, p. 63. Par exemple, la théorie abstraite ne donne une égalité des angles d'incidence et de réflexion que pour le seul cas d'une incidence de 30° (voir *Théorie du mouvement abstrait*, théorèmes 7, 8, 9) sur la normale au plan de réflexion, or l'expérience nous apprend l'égalité. Cette loi d'égalité ne peut se démontrer

Malebranche évoque l'« indifférence » de la matière dans son chapitre explicatif de la dureté, il examine des corps dans le système du monde et non abstraitement. Le rapprochement avec Pardies et Leibniz peut alors laisser envisager que le philosophe n'attribue pas de propriétés dynamiques à la matière et qu'ainsi son traitement du choc ne repose que sur des compositions cinématiques excluant toutes grandeurs assimilables à des masses. Malgré tout, l'examen de ses règles de collisions montre qu'il n'en est rien – un mobile heurtant un corps au repos perd de son mouvement – et ainsi il ne conçoit pas l'indifférence comme cette « non résistance » évoquée par Keill. Mais, contrairement à Keill et Régis, Malebranche refuse l'équivalence entre repos et mouvement, et le choc contre un corps au repos ne s'interprète pas par la force de repos évoquée par Régis, force dont le philosophe Samuel Clarke souligne la proximité avec la *vis inertiae* newtonienne comme nous le verrons ci-dessous. En somme, pour Malebranche, le corps peut prendre indifféremment les deux états sans pour autant qu'ils soient dynamiquement équivalents.

L'ABSENCE D'INERTIE CHEZ MALEBRANCHE : LECTURES CRITIQUES

Privation et inertie : la critique de Samuel Clarke

Clarke, dans ses annotations du *Traité de physique* de Rohault, rejette la thèse malebranchiste assimilant le repos à une privation¹. Sa critique livre deux informations : d'une part, à ses yeux, les conceptions cartésiennes de forces de repos et de mouvement doivent être rapprochées, sinon assimilées, à la force d'inertie newtonienne et, d'autre part, la thèse de Malebranche du repos comme privation conduit directement à l'absence d'une conceptualisation de l'inertie. Autrement dit, sur ce dernier point, lorsque Malebranche écrit qu'un corps au repos ne résiste pas, aux yeux de Clarke il ne rejette pas seulement la résistance absolue telle que Descartes l'entend dans la règle 4 de ses *Principes* mais aussi la résistance entendue comme réaction.

Clarke rejette recuse la thèse cartésienne faisant de l'extension l'essence de la matière : « pas l'étendue, mais l'*étendue-solide, impénétrable*, laquelle est dotée d'une *Puissance de résistance* peut [...] être plus véritablement être appelée l'*Essence de la matière* »². Rohault fait reposer la loi de persistance des états de repos et de mouvement sur l'Axiome 6 stipulant que « chaque chose est déterminée d'elle-même, à continuer dans sa façon d'estre » ou encore que « rien ne tend de soy-même à sa destruction », et sur les Axiomes 7 et 8 énonçant, respectivement, que « tout changement procede d'une cause extérieure » et que « lors qu'il se fait quelque changement, il est toujours proportionné à la

abstraitement ; il faut la mettre du côté des observations et rendre compte de sa constance par « l'hypothèse du mouvement concret, soit l'Economie présente du monde », et cet ordonnancement est important car la vision et l'ouïe n'existeraient pas (voir *Théorie du mouvement concret*, § 21). Or, grâce à l'éther, tous les corps sont élastiques et donc tous se réfléchissent ; s'ensuit une explication de la loi optique (*Théorie du mouvement concret*, § 21), ainsi qu'une justification des règles de collisions élastiques de Huygens et Wren (*ibid.*, § 22).

- 1 *Rohault's System of Natural Philosophy. Illustrated with Dr. Samuel Clarke's Notes, Taken Mostly out of Sr. Isaac Newton's Philosophy. With additions. Done into English by John Clarke*, vol. 1, Londres, James et John Knapton, 1729 (2^e éd. anglaise, 1^{re} éd. anglaise en 1723), p. 25. Pour un examen de cette édition critique de Clarke et son importance dans la diffusion de la physique de Newton en Angleterre, voir notamment Volkmar Schuller, « Samuel Clarke's annotations in Jacques Rohault's *Traité de physique*, and how they contributed to popularising Newton's physics », éd. Wolfgang Lefevre, *Between Leibniz, Newton, and Kant : philosophy and science in the eighteenth century*, Dordrecht, Boston, Kluwer Academic Publishers, 2001, p. 95-110 ; Mihnea Dobre, « Rohault's Cartesian Physics », éd. Mihnea Dobre et Tammy Nyden, *Cartesians Empiricisms*, Dordrecht, Londres, Heidelberg, New York, 2013, p. 203-226.
- 2 *Rohault's System of Natural Philosophy*, p. 25 : « not *Extension*, but *Solid Extension, impenetrable*, which is endued with a *Power of resisting*, may [...] be more truly called the *Essence of Matter* ». Dans les « Règles qu'il faut suivre dans l'étude de la Physique » de ses *Principes*, Newton conçoit la dureté, l'impénétrabilité, la mobilité et l'inertie comme des propriétés essentielles des corps et écrit, concernant l'inertie, que « tous les corps que nous connoissons étant mobiles, & doués d'une certaine force (que nous appelons force d'inertie) par laquelle ils persèverent dans le mouvement ou dans le repos, nous concluons que tous les corps en général ont ces propriétés ». Newton, *Principes*, TMC, III, p. 3-5.

force de l'agent qui le cause ; en sorte que le sujet où il arrive, conserve le plus qu'il est possible de sa première façon d'être. Ainsi, si un corps qui se meut lentement en rencontre un autre au repos qu'il pousse devant lui, il ne faut pas penser qu'il l'oblige à se mouvoir plus vite qu'il va lui-même »¹. Cette loi de persistance, et les axiomes qui la fondent, ne reçoivent pas d'annotations de Clarke². Puis, Rohault mentionne la persistance de la « détermination » fondée sur le fait que chaque chose fait effort pour perdurer dans l'état où elle se trouve, ce qui ne donne à nouveau pas lieu à de remarques de la part de Clarke³. C'est dans une longue note portant sur section intitulée par Rohault « ce que c'est le mouvement & le repos »⁴ que Clarke souligne que

whether Rest be a mere *privation* of Motion, or *any Thing positive*, this is sharply disputed. *Cartes* and some others contend, that which is at Rest, has some kind of Force, by which it continues at Rest, and whereby it resists everything that would change its state ; and that Motion may as well be called a Cessation of Rest, as Rest is a Cessation of Motion⁵.

que le repos soit une simple *privation* de mouvement, ou n'importe quelle *chose positive*, ceci est fortement contesté. Descartes et quelques autres prétendent que ce qui est au repos a une sorte de force, par laquelle il demeure au repos, et par laquelle il résiste à tout ce qui pourrait changer son état ; et que le mouvement peut aussi bien s'appeler une cessation du repos, comme le repos est une cessation de mouvement.

Nous avons vu ci-dessus que tel était le cas pour Régis. *A contrario*, cette « sorte de Force », que Clarke identifie à la force d'inertie, fait défaut chez Malebranche :

Malebranch in his Enquiry after Truth, Book 6. Chap. 9. and others contend on the contrary, that Rest is a mere privation of Motion ; their Arguments may be seen briefly explained in Mr. *Le Clerc's Phys. Book 5. Chap. 5.* One Thing only I would observed by the way, relating to this Matter, and that is, that *Malebranch* and Mr. *Le Clerc*, who follow his Opinion, in the following Argument, beg the Question. Suppose, say they, a Ball at Rest ; suppose that God should cease to will any Thing concerning it ; what would be the Consequence ? It would be at Rest still. Suppose it be in Motion ; and that God should cease to Will that it should be in Motion, what would follow then ? It would not be in Motion any longer. Why not ? Because the Force, whereby the Body in Motion continued in the State it was, is the *positive* will of God, but that whereby it is at Rest is only *privative* : this is a manifest begging of the Question. In reality, the *Force* or *Tendency* by which Bodies, whether in Motion or at Rest, continue in the State in which they once are ; is the *mere Inertia* of Matter ; and therefore if it could be, that God should forbear willing at all ; a Body that is once in Motion, would move on for ever, as well as a Body at Rest, continue at Rest for ever. And the Effect of this *Inertia* of Matter is this ; that all Bodies resist in proportion to their Density, that is, to the Quantity of Matter contained in them ; and every Body striking upon another with a *given Velocity*, whether that other be greater or less, moves it in proportion to the Density or Quantity of Matter in the one, to the Density or Quantity of Matter in the other (*ibid.*)

Malebranche dans sa *Recherche de la Vérité*, Livre 6, Chap. 9 et d'autres affirment au contraire que le repos n'est qu'une privation de mouvement ; leurs arguments peuvent être vus brièvement expliqués dans

-
- 1 Rohault, *Traité de Physique*, p. 30-31. La loi de persistance stipule que « ce qui est en repos, ne commencera jamais à se mouvoir, si quelque chose ne le meut ; de mesme aussi, ce qui a une fois commencé à se mouvoir, ne sçauroit de soy-mesme ne pas continuer à se mouvoir, jusqu'à ce qu'il rencontre quelque chose qui retarde ou qui arrête son mouvement », *ibid.*, p. 63-64. Voir *Rohault's System of Natural Philosophy*, p. 47.
 - 2 Se rencontre seulement un ajout dans la dernière phrase de l'Axiome 8 portant sur la nature des corps, précision qui n'en altère pas le fond. Ainsi, d'après l'Axiome 8, si un corps au repos est percuté par un autre, il ne devient pas plus rapide que ce dernier, et Clarke de préciser : « *Swifter than it goes it self.* Unless it be endued with an *elastick Force*, which is to be understood as an addition of *new Force* » (« Plus rapide que lui. A moins qu'il ne soit doué d'une force élastique, qui doit être comprise comme l'ajout d'une nouvelle force »), *Rohault's System of Natural Philosophy*, p. 19-20.
 - 3 Rohault, *Traité de Physique*, p. 100-101 : « comme chaque chose persiste de soy-mesme autant qu'elle peut dans sa façon d'être, il est évident qu'un corps qui a une fois commencé de se mouvoir avec une certaine détermination, la doit toujours garder, c'est-à-dire, qu'il doit toujours décrire une ligne droite, puisque c'est la seule détermination qui soit naturelle à un corps qui se meut ». Voir *Rohault's System of Natural Philosophy*, p. 79.
 - 4 Rohault, *Traité de Physique*, p. 56-57 ; *Rohault's System of Natural Philosophy*, p. 38-39.
 - 5 *Rohault's System of Natural Philosophy*, p. 41.

le Livre 5, Chapitre 5 de la *Physique* de M. Le Clerc. Une seule chose que j'ai remarqué à propos de ceci c'est que le raisonnement de Malebranche et de M. Le Clerc, qui suit son opinion, élude la question. Supposons, disent-ils, une balle au repos ; supposons que Dieu cesse de vouloir quoi que ce soit à ce sujet, quelle en serait la conséquence ? Elle serait encore au repos. Supposons qu'elle soit en mouvement et que Dieu cesse de vouloir qu'elle soit en mouvement, que s'en suivrait-il alors ? Elle ne serait plus en mouvement. Pourquoi ? Parce que la force par laquelle le corps en mouvement a continué dans l'état où il était est la volonté *positive* de Dieu, mais celle par laquelle il est au repos n'est que *privative* : c'est une pétition de principe. En réalité, la *force* ou *tendance* par laquelle les corps, qu'ils soient en mouvement ou au repos, continuent dans l'état dans lequel ils se trouvent est la *simple inertie* de la matière ; et donc, s'il se pouvait que Dieu s'abstienne d'agir, un corps qui est en mouvement continuerait pour toujours, et un corps au repos continuerait au repos pour toujours. Et l'effet de cette *inertie* de la matière est le suivant : tous les corps résistent proportionnellement à leur densité, c'est-à-dire à la quantité de matière qu'ils contiennent ; si un corps en percute un autre avec une vitesse donnée, que ce dernier soit plus grand ou non, il le meut en proportion des densités ou quantités de matière de chacun.

En évoquant le « Book 6, Chap. 9 » ce passage, qui comme nous le verrons repris quasi-intégralement dans l'article « Mouvement » de l'*Encyclopédie*¹, établit un lien direct entre la critique de Malebranche de l'explication de Descartes de la dureté, laquelle le conduit à rompre avec l'équivalence ontologique entre repos et mouvement et lui fait concevoir le repos comme une simple privation, et l'absence de conceptualisation de l'inertie. Jean Le Clerc, ici mentionné, développe dans le paragraphe 14 du Chapitre V (« *De motu & Quietate* ») du Livre V (« *De Corpore in genere* ») de sa *Physica* une critique de l'explication de Descartes de la dureté et de l'équivalence ontologique qui la sous-tend entre mouvement et repos, en reproduisant l'argumentation de Malebranche concernant le rapport entre l'exercice de la volonté divine et les états de mouvement et de repos : le premier requiert une « volonté positive » tandis que l'autre n'est que la cessation de cette volonté, Le Clerc précisant alors que le repos, au regard de l'efficace divine, n'appelle que la création de la matière tandis que le mouvement implique une action supplémentaire².

Sigorgne critique de Privat de Molières

Pierre Sigorgne remarque que Privat de Molières admet la proportionnalité entre la force et la quantité de mouvement produite³, mais que cette conception est en contradiction avec certains passages de ses *Leçons de physique*⁴. En effet, Sigorgne évoque cette « opinion aujourd'hui communément reçue que le repos n'est pas une force positive », autrement dit que le corps immobile ne résiste pas à la manière dont le conçoit Descartes dans sa règle 4 des *Principes*, mais il ajoute aussi que « l'Auteur même [Molières] après le P. Malebranche soutient que c'est un état privatif, qu'il ne faut en Dieu aucune volonté pour le produire » ; Sigorgne cite aussi Molières qui écrit « qu'il [le repos] n'est que le terme du mouvement, qu'il n'est au mouvement, que ce que le point est à la ligne »⁵. Mais, remarque Sigorgne, dans ces conditions,

-
- 1 De même que l'entrée « Repos » de l'*Encyclopédie* évoque la thèse du repos conçu comme « privation ». Pour un examen de ces articles, voir ci-dessous.
 - 2 Jean Le Clerc, *Physica sive de rebus corporeis, Libri quinque*, Londres, A. Swall & T. Childe, 1696, p. 386-388 et notamment p. 387 : « concipiamus à Deo corpus creari, eâ solâ volitione intelligemus corpus quietum creari, sine ulla alia Dei volitione ; sed ut moveatur, opus est nova actione Dei, quâ facit ut quod quietum erat moveatur. Itaque quies nihil est, motus vero aliquid ».
 - 3 Molières [1734], Leçon I, Proposition III, p. 9.
 - 4 Sigorgne développe de nombreuses critiques contre le système des petits tourbillons développé par Privat de Molières dans ses *Leçons de physique* ; nous y reviendrons dans la Partie II, Chapitre V.
 - 5 Sigorgne, *Examen & Refutation des Leçons de Physique expliquées par M. de Molières, au College Royal de France*, Paris J. Clousier, 1741, p. 1. Voir Molières [1737], Leçon VI, Proposition VII, p. 37 concernant le propos attribué à Molières que le repos est « un état privatif ».

si le repos n'a pas de force pour résister, je ne vois pas pourquoi ni comment la force d'un corps en mouvement peut être égale ou proportionnelle au produit de sa masse par sa vitesse ; il me paroît qu'en ce cas il ne faut pas plus de force pour procurer à un grand corps une certaine vitesse, que pour la procurer à un petit. En effet puisque ni l'un ni l'autre ne résiste à ce degré de vitesse, on ne peut pas supposer que l'un résiste plus que l'autre, ni par conséquent que l'un exige une plus grande force que l'autre pour être mû avec ce degré de vitesse. Pour un plus grand éclaircissement, supposons en repos les deux corps *A*, *B*, & que *A*, par exemple, soit double de *B* : je dis que si une force telle que *f* vient à frapper les deux corps *A*, *B*, ils iront après le choc avec une égale vitesse¹.

Il s'ensuit que lors de chocs il ne faut pas avoir égard aux masses, ou encore que « le mouvement ne se communique point proportionnellement aux masses », et ainsi « lorsqu'un [...] corps [dur] en frappe un autre au repos [quelles que soient leurs masses], il doit, comme l'a pensé le P. Malebranche, lui communiquer toute sa vitesse » (*ibid.*, p. 7-8)². Se retrouve, ici, la dénonciation leibnizienne stipulant que l'absence d'inertie conduit à une étude du mouvement basée sur la seule composition de vitesse.

Par ailleurs, c'est aux *Essais de Théodicée* que Sigorgne se réfère, en rapportant que Leibniz y soutient que « dans l'hypothèse de la parfaite indifférence des corps au mouvement & au repos, une même force [peut] donner un même degré de vitesse à des corps de masses inégales », ce qui ne peut pas se produire en prenant en compte « l'inertie naturelle »³. Sigorgne ajoute avoir « lû dans les écrits de biens des Cartésiens, & [avoir] ouï dire souvent aux plus fameux, que n'étoit la force d'inertie qu'ils distinguent très fort de la masse & de l'impenétrabilité de la matière, la masse ne résisteroit pas plus que *le volume, ni que la couleur* » et se réfère ici, en particulier, à Dortous de Mairan⁴. Sigorgne évoque aussi les notes du *Traité de physique* de Rohault rédigées par Clarke. Ce dernier affirme, contre Rohault, qu'il faut prendre en compte la « pesanteur » d'un corps – entendre sa « masse » qui lui est proportionnelle – et non sa « grandeur » dans l'évaluation des quantités de mouvements. Clarke écrit aussi que la « gravité » ne peut pas s'expliquer par l'impulsion d'une matière subtile, impulsion qui est en « proportion » d'une « superficie » – donc d'une « grandeur » – tandis que « la gravité est toujours proportionnelle à la quantité de matière solide »⁵. En somme, conclut Sigorgne, « otez donc la pesanteur [la masse] & il n'y aura plus dans les corps d'autre force que leurs vitesses représentées par les espaces parcourus en tems égaux »⁶ ; prendre en compte la « grandeur » reviendrait ainsi à manquer le concept essentiel – la masse – et les chocs s'apparenteraient alors à des compositions de vitesses. Sigorgne

1 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 2

2 Sur cette conception du choc chez Malebranche, voir le chapitre précédent.

3 Sigorgne, *Replique a M. de Molières ou Demonstration Physico-Mathématique, de l'insuffisance des Tourbillons*, Paris, J. Clousier, 1741, p. 46-47. Sigorgne cite un passage des *Essais de Théodicée* stipulant qu'il faut deux fois plus de force pour donner une même vitesse à un corps double d'un autre, ce qui ne serait pas nécessaire en supposant la matière indifférente au mouvement et au repos et si elle n'avait pas une « inertie naturelle ». Sigorgne se réfère aussi aux §§ 347 et 380 de ce livre stipulant qu'« il semble, en considérant l'indifférence de la matière au mouvement & au repos, que le plus grand corps en repos pourroit être emporté sans aucune résistance par le moindre corps, qui seroit en mouvement, auquel cas il y auroit action sans réaction, & un effet plus grand que sa cause » et que « Kepler Mathematicien moderne des plus excellens a reconnu une espece d'imperfection dans la matière [...] c'est ce qu'il appelle son inertie naturelle, qui luy donne une résistance au mouvement, par laquelle une plus grande masse reçoit moins de vitesse d'une même force ». Leibniz, *Essais de Théodicée*, p. 320 et p. 341.

4 Sigorgne, *Replique*, p. 48. Voir Mairan, *Dissertation sur l'estimation & la mesure des forces motrices*, p. 39-40 : « quand je dis qu'on a d'autant plus de peine à tirer un corps du repos, & à le faire mouvoir avec une certaine vitesse, qu'il a plus de masse ; quand j'ajoute que les poids des corps sont comme leurs masses, que leurs forces sont encore comme ces mêmes masses multipliées par la vitesse, & toutes les autres propositions semblables : ou je n'attache aucune idée à ce que je dis, & au mot de masse, ou j'y attache l'idée d'une force capable de modifier celle qui est extérieurement appliquée au corps, pour le mouvoir, ou pour l'arrêter. Sans cela la masse ne seroit pas plus capable de s'opposer à l'action de la force extérieure, ou de concourir avec elle pour en augmenter l'effet, que le volume, ou la couleur, ou telle autre dénomination accidentelle des corps ».

5 Voir Clarke, *Rohault's System*, note 1 p. 43, note 1 p. 50 et note 1 p. 52-54 (nous traduisons). Pour les extraits de ces notes citées par Sigorgne, voir Sigorgne, *Replique*, p. 48. Cette remarque de Clarke figure à l'origine dans Newton, *Principes*, TMC, Scholie général, p. 178-179.

6 Sigorgne, *Replique*, p. 48.

recourt donc ici indifféremment à l'inertie au sens de Leibniz et de Clarke pour montrer que la thèse du repos comme « état privatif » conduit à l'absence de conceptualisation de l'inertie.

Face à ces critiques, la réponse de Jean Baptiste Le Corgne de Launay, disciple de Privat de Molières, se veut polémique et pleine d'ironie en notant que la dispute de l'époque relative à la force d'un corps en mouvement porte sur le choix adéquat de sa quantification (quantité de mouvement ou force vive)¹ mais que « jamais aucun Physicien de nom n'avoit entrepris de prouver que pour estimer la force, il ne falloit avoir aucun égard à la masse du mobile »². Le Corgne insiste alors sur le sens à apporter au verbe « résister » : si Privat de Molières et « tous les Physiciens modernes » prétendent que « le repos n'a aucune force positive pour résister au mouvement » ceci signifie seulement « qu'un corps reçoit & prend toujours tout le mouvement qu'on lui donne »³ ; l'absence de résistance s'entend donc comme le fait que la moindre petite force suffit à mettre en mouvement un corps. Mais, manifestement, pour Launay que l'action d'une même force provoque une vitesse moindre sur une plus grande masse s'interprète par un simple principe de conservation de la quantité de mouvement illustrée par le choc de corps durs⁴. La réplique de Launay manque à l'essentiel en ceci que Sigorgne ne dénie pas la nécessité de prendre en compte la masse mais dénonce les conséquences auxquelles les principes de ces auteurs mènent à savoir selon lui une absence d'inertie. Aussi, face à cet exemple du choc d'un corps dur contre un autre au repos évoqué ci-dessus par Sigorgne, le mobile communiquant toute sa vitesse « comme l'a pensé le P. Malebranche », Le Corgne rétorque « laissons-là les morts & parlons des vivants » en notant que depuis « 40. ans tous les Mécaniciens sont d'accord, que le mouvement se communique proportionnellement aux masses »⁵ ; ceci ne l'engage cependant pas à formuler un concept d'inertie.

Les *Institutions physiques* de la marquise Du Châtelet

La marquise Du Châtelet estime que la difficulté à séparer les parties d'un corps vient de leur « inertie » et de la force par laquelle elles sont unies entre elles appelée « *cohérence* » ou « *cohésion* »⁶. Descartes justifie cette dernière par « cette force qu'il attribuoit aux corps en repos », par laquelle « Descartes entendoit ce que l'on exprime aujourd'hui par *force d'inertie* ». Mais cette force ne s'identifie pas à celle unissant les parties d'un corps faisant « qu'elles ne peuvent plus se mouvoir d'un mouvement commun » (*ibid.*, p. 220-221). L'erreur de Descartes ne consiste à pas introduire cette force des corps au repos, assimilée ici à la force d'inertie, mais au rôle qu'il lui fait jouer dans la cohésion de la matière. Aussi,

le Père Mallebranche à combattu l'explication que Descartes donnoit de la cohésion, en niant qu'il y eût aucune force dans les Corps en repos, & cela, dit-il, parce qu'il ne faut point de force pour ne rien faire ; ainsi ce Philosophe n'admettoit point de force résistante dans la matière, en quoi il se trompoit, car vous

1 Pour cette dispute sur la mesure de la force d'un corps en mouvement, voir notamment Costabel, *La signification d'un débat sur trente ans (1728-1758). La Question des forces vives*, Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences, n° 8, 1983.

2 Launay, *Réponse aux Principales Objections contenues dans l'Examen des Leçons de Physique de M. l'Abbé de Molières. En forme de Lettres à M. Sigorgne*, Paris, Jacques Clousier, 1741, p. 32-33.

3 *Ibid.*, p. 34.

4 *Ibid.*, p. 34-35 : « comment peut-on ne pas comprendre que si à deux corps inégaux en masse on applique une force égale, le plus petit aura plus de vitesse ? Car, si au plus grand & au plus petit corps on applique une force égale, il faudra que l'un & l'autre reçoive tout le mouvement qui lui est donné, d'où il suit évidemment qu'il faut que le petit corps ait plus de vitesse que le grand, sans quoi ils n'auroient pas reçu la même force ; ce qui est contre l'hypothèse ». Voir aussi p. 42-43 pour un exemple de collision de corps durs : Launay détermine les vitesses finales lors du choc de deux corps durs, l'un au repos, en appliquant le principe de conservation de la quantité de mouvement pour en conclure que « la vitesse [est] distribuée proportionnellement aux masses ».

5 *Ibid.*, p. 42.

6 Emilie Gabrielle Le Tonnelier marquise Du Châtelet, *Institutions physiques*, Amsterdam, Aux dépens de la compagnie, 1742, p. 217.

avez vu (§. 142), que sans la force résistante, qu'on appelle force d'inertie, il n'y auroit point de raison suffisante de la communication du mouvement, aussi tous les Philosophes reconnaissent-ils aujourd'hui que cette force appartient à toute la matière (*ibid.*)

Le « §. 142 » introduit la « force passive » de la matière à savoir « cette force résistante [...] exprimée par Képler d'une manière fort significative par les mots *vis inertiae*, *force d'inertie* » :

sans cette force, aucune des loix du mouvement ne pourroit subsister, & tous les mouvemens se feroient sans raison suffisante : car dès qu'on admettroit que la Matière fût sans résistance, ou force d'inertie, il n'y auroit plus de proportion entre la cause & l'effet ; & l'on ne pourroit point juger de ce qu'un Corps a une telle quantité de mouvement & une telle masse, qu'il a fallu une telle force pour le lui communiquer. Car le plus grand Corps & le plus petit pourroient être mus par la même force avec la même facilité & la même vitesse, s'ils étoient l'un & l'autre sans inertie [...] Ainsi il n'y auroit aucune vérité déterminée dans les changemens qui arrivent dans les Corps, si la Matière étoit sans inertie, & ces changemens pourroient être indifféremment tels qu'ils sont, ou tout autres, sans qu'on en pût donner aucune raison, ce qui est entièrement contraire au principe de raison suffisante, selon lequel les effets doivent être proportionnés aux causes. Mais cette proportion entre la cause & l'effet se trouve toujours dans l'action des Corps les uns sur les autres, dès qu'on admet de la résistance dans l'étendue : car alors une double étendue opposant une double résistance, il faut une double force pour lui imprimer le même mouvement (*ibid.*, p. 166-167)¹.

A l'étendue et à la « force motrice » entendue comme « force active » et « principe de l'action » des corps entre eux qui « se trouve répandue dans toute la Matière », il faut joindre cette « force résistante » pour « connaître l'essence de la Matière »² : « l'étendue, la force motrice, & la force d'inertie, étant posées, tout ce qui se trouve dans les corps, & tous les changemens qu'ils subissent le sont aussi, & peuvent s'expliquer par ces trois principes » (*ibid.*, p. 168). Si cette force d'inertie semble introduite dans son sens képlérien, elle s'entend aussi comme une réaction de la matière. Tout d'abord, pour un projectile « la continuation du mouvement [...] après l'absence du moteur, est une suite de la force d'inertie de la matière, force par laquelle les Corps restent dans l'état où ils sont, si quelque cause ne les en retire » (*ibid.*, p. 252). En vertu du principe de raison, « un Corps en mouvement ne cesseroit jamais de se mouvoir, si quelque cause n'arrêtoit son mouvement, en consommant sa force ; car la matière résiste également par son inertie au mouvement, quand elle est en repos, & au repos, quand elle est en mouvement » ; cet énoncé précède celui du principe d'inertie ou « première

1 Pour la marquise Du Châtelet, le principe de raison suffisante est « le fondement de toutes les vérités contingentes » dont la négation conduit à des « contradictions », car en admettant qu'il peut se produire des choses sans raison suffisante « on ne peut assurer d'aucune chose, qu'elle est la même qu'elle étoit le moment d'auparavant, puisque cette chose pourroit changer à tout moment [...] ainsi il n'y auroit pour nous de vérités que pour un instant ». Sans ce principe on pourrait seulement dire que deux poids sont identiques à un instant donné mais il pourrait arriver sans aucune raison un changement dans l'un des deux ; il existerait dans la nature « des effets sans raison suffisante » qui relèverait alors du hasard et « on ne pourroit plus dire que cet Univers, dont toutes les parties sont si bien liées entre elles, n'a pu être produit que par une sagesse suprême ». *Ibid.*, p. 24-25. Ce principe est « la bride de toute imagination » : si ce qui n'implique pas contradiction est possible, pour qu'une chose soit il faut que la possibilité ait son accomplissement. Or, ceci ne se fait pas sans raison suffisante par laquelle un être comprenne pourquoi cette chose existe : il faut que la cause contienne ce principe d'actualité et la raison de son existence « par où on puisse faire voir comment, & pourquoi un effet peut arriver ». *Ibid.*, p. 27-29. Bien que les scolastiques confèrent des causes à des effets, ils donnent pour causes des « Natures plastiques », des « âmes végétatives » attribuant ainsi, par exemple, une cause pour l'accroissement d'une plante ; mais cette cause ne permet pas de comprendre comment la végétation s'opère, pourquoi elle a « a plutôt une telle structure que toute autre, ni comment cette ame peut former une Machine telle que cette Plante ». Sur l'usage du principe de raison dans les *Institutions* et ses racines leibniziennes et wolffiennes, voir Anne-Lise Rey, « Le leibniz-newtonianisme : la construction d'une philosophie naturelle complexe dans la première moitié du 18^e siècle », *Revue Dix-huitième siècle*, n° 45, p. 115-129 ; Paul Veatch Moriarty, « The principle of sufficient reason in Du Châtelet's *Institutions* », éd. Judith P. Zinsser et Julie C. Hayes, *Émilie Du Châtelet : rewriting Enlightenment philosophy and science*, Oxford, Voltaire Foundation, 2006, p. 203-225.

2 Du Châtelet, *Institutions physiques*, p. 165-167.

loi » du mouvement (*ibid.*, p. 233)¹. Ainsi, « les Corps résistent également au mouvement & au repos ; cette résistance étant une suite nécessaire de leur force d’inertie » (*ibid.*, p. 243) et, dans les chocs, « les corps réagissent par leur force d’inertie », « ils tendent à changer l’état du Corps qui les pousse, & auquel ils résistent » et acquièrent « la force que le Corps qui agit sur eux, consume en agissant » (*ibid.*, p. 246-247) ; « cette résistance que tous les Corps opposent, lorsqu’on veut changer leur état présent, est le fondement de la troisième Loi du mouvement, par laquelle la réaction est toujours égale à l’action » (*ibid.*, p. 244)². Ces différentes citations suggèrent, comme cela transparaît aussi chez Sigorgne, que les usages de l’expression « force d’inertie » recouvrent à la fois un sens leibnizien – c’est un principe à ajouter à l’étendue et à la force active, et cette force s’entend dans un sens képlérien – et newtonien – le corps perdure dans son mouvement rectiligne uniforme et résiste en vertu de sa force d’inertie.

La marquise Du Châtelet affirme que « par cette force qu’il [Descartes] attribuoit aux corps en repos, Descartes entendoit ce que l’on exprime aujourd’hui par *force d’inertie* »³. Puis, au niveau ontologique, elle reproche à Malebranche de ne faire consister l’essence de la matière qu’en l’étendue (*ibid.*, p. 160-165) et de ne pas prendre en compte des forces « passives » et « actives » ; au niveau phénoménal, elle souligne l’absence de concept d’inertie par lequel les corps réagissent, absence conduisant à l’impossibilité de fonder des règles du choc et, plus généralement, les phénomènes, puisque il n’y aurait alors « aucune vérité déterminée dans les changemens qui arrivent dans les Corps, si la Matière étoit sans inertie ».

Ces trois témoignages de Clarke, Sigorgne, et de la marquise Du Châtelet établissent ainsi un lien direct entre la critique malebranchiste de Descartes et l’absence de conceptualisation de l’inertie. L’indifférence de la matière conduirait à une composition des vitesses sans prendre en compte la masse des corps, la marquise et Sigorgne suivant en cela Leibniz ; bien que Régis ne formule pas la force d’inertie, son propos développant une critique de Pardies ne s’éloigne pas de ces deux derniers savants. Ces différents auteurs suivent donc des courants philosophiques différents – leibnizien, newtonien, cartésien – mais s’accordent unanimement sur la nécessité d’une conceptualisation d’une résistance du corps immobile dont certains d’entre eux reconnaissent l’absence chez Malebranche.

TRABAUD, OCCASIONALISME ET INERTIE

Science mathématique

Selon Jean François Trabaud⁴, « les Philosophes du dernier siècle » raisonnent tous sur « le même principe, que tout ce qui appartient à ce monde visible s’opere avec la matiere & le mouvement »⁵. Trabaud les distingue en « deux classes », les uns développant une « *Physique systématique* » à l’instar de « M. Descartes & [...] ceux qui l’ont suivi ou qui ont travaillé sur le même plan », et les autres une « *Physique mathématique* » ; ces deux physiques participent d’une « *Physique raisonnée* » ou encore d’une « *Physique scientifique* »

1 Un mouvement uniforme (p. 272) et rectiligne (p. 303)

2 Pour un examen de différents concepts et lois de la mécanique dans les *Institutions* en liens avec l’héritage de Descartes, Newton et Leibniz, voir Dieter Suisky, « Leonhard Euler and Emilie du Châtelet. On the Post-Newtonian Development of Mechanics », éd. Ruth Hagengruber, *Emilie du Châtelet between Leibniz and Newton*, Londres, Springer, 2012, p. 113-155.

3 Du Châtelet, *Institutions physiques*, p. 219-220.

4 Trabaud est maître de mathématiques au collège de Huban dit de l’Avé Maria à Paris. Pour quelques éléments biographiques, voir Jean Le Rond D’Alembert, *Correspondance générale 1741-1752*, éd. Irène Passeron, *Œuvres complètes*, Série V, Vol. 2, Paris, CNRS Editions, 2015, p. 10 et p. 551.

5 Trabaud, *Principes sur le Mouvement et l’Equilibre, pour servir d’introduction aux Mécaniques & à la Physique*, Paris, J. Desaint et C. Saillant, 1741, p. ij.

(*ibid.*, p. ij-ijj)¹. Un système consiste en « un corps de principes par le moyen desquels on peut conjecturer avec vraisemblance les premières causes : plus les causes sont intimement liées avec les effets qu'on leur attribue & qu'on en fait dépendre, plus on est assuré d'approcher de la vérité » (*ibid.*, p. ij)². Mais, face à la « difficulté extrême de pénétrer dans la vraie structure de l'univers, & de parvenir jusqu'aux premières causes », d'autres savants se restreignent au seul mouvement pour objet de leur recherche : « ce sujet est susceptible d'évidence ; & pour établir la certitude des conséquences qu'on en peut déduire, il n'est pas nécessaire d'entrer dans les qualités les plus intimes des corps, ni de connaître leur vraies causes, les causes qui concourent à leur formation ou qui les meuvent » ; « les mouvements qui dans la nature se perpétuent de siècle en siècle, sont réglés par des loix certaines & constantes : or ce sont ces loix là qu'il importe & qu'il suffit de bien connaître ». Aussi, pour Trabaud, « Dieu en créant l'univers matériel, a assujéti la formation & la naissance des corps à un ordre, il a voulu qu'ils s'entrecommuniquassent leurs mouvements, & que tout se fit par la correspondance mutuelle des parties » et, par la « succession de causes & d'effets » réglés, « Dieu conserve son ouvrage & l'entretient ».

Suivant cette seconde voie, « il s'agit d'exprimer les effets naturels par certains rapports », sans que l'esprit n'approfondisse les premières causes « ni qu'il discute les premiers principes des corps ». Cette méthode est la plus aisée et la plus à la portée de l'esprit humain : « rien ne lui est plus familier que les rapports, & il ne conçoit jamais mieux une chose que lorsqu'on la lui présente à la lumière de quelque rapport ». Elle est légitime car « dans la Nature tout est supputé tout s'y opère avec poids & mesure ; c'est donc se conformer aux vûes de la Nature, ou de son Auteur, & la suivre pied à pied, que de développer ses opérations par une suite de rapports » (*ibid.*, p. iij-v). Trabaud adopte cette « *Physique mathématique* » et, dans un chapitre intitulé « *Des forces qui meuvent les corps* », il précise qu'« on n'examinera point leur [les causes] nature ni le lieu où elles résident ; mais on s'appliquera principalement à examiner leurs effets, à connaître leur caractère & la loi suivant laquelle elles agissent » (*ibid.*, p. 37). Un choix devant être associé à un certain scepticisme concernant la possibilité de saisir la nature des causes³.

La réduction des causes aux seuls effets

En effet, « le mouvement présente deux côtes, l'un éclairé, l'autre ténébreux » : la recherche des rapports de vitesses, de forces etc. permet de « marcher avec sûreté », tandis que « s'il on veut creuser dans sa nature & approfondir son essence, on s'enfonce dans des obscuritez où l'esprit a bien de la peine à se conduire » (*ibid.*, p. xv). Ainsi, concernant la cause du mouvement, l'expérience enseigne qu'un corps immobile demeure dans cet état et requiert une cause pour se mouvoir, mais « la nature de cette cause » entraîne des désaccords. Lorsqu'un mobile choque un corps au repos « on est porté » à croire qu'il lui communique du mouvement, « mais des Philosophes élevant leur raison au-dessus des sens, ne peuvent se persuader que la matière étant destituée d'intelligence & de volonté puisse produire le Mouvement : les corps n'ont ni force, ni puissance, ni efficace pour produire quoique ce soit, c'est Dieu qui veut leur rencontre & le choc ; le choc actuel n'est qu'une cause occasionelle qui détermine Dieu à produire le mouvement actuel conformément aux lois qu'il a établies ». Puis, « d'autres Philosophes expliquant l'expérience plus littéralement, veulent que le

1 Trabaud écrit qu'« amasser les faits » donne lieu à la « *Physique expérimentale* ». Puis « lier » ces faits, voir « leur dépendance mutuelle », s'en « représenter plusieurs sous la même idée » et les apercevoir dans « un même point de vue », et « déterminer dans quelle proportion ils influent les uns sur les autres » alors « cet enchaînement clairement connu de causes & d'effets » constitue la « *Physique raisonnée* », *ibid.*, p. j.

2 Les Chapitres II et V de la Partie II reviennent sur la notion de système et ses critiques au XVIII^e siècle.

3 Remarquons que cette épistémologie basée sur les rapports des grandeurs est aussi celle préconisée par Malebranche, voir Introduction.

Mouvement soit une cause nécessaire, par cela même qu'il est Mouvement, & que sa force & son activité soient essentiellement attachées à son existence ». Ceux qui considèrent les corps comme des causes véritables ne s'accordent pas sur « les différentes manières dont les corps peuvent agir les uns sur les autres ». Pour certains, les corps ne peuvent agir que par impulsion, tandis que pour d'autres le choc n'est pas l'unique moyen de communication du mouvement qui peut être causée par des actions à distance. Finalement, la cause doit s'entendre comme cause occasionnelle ou réelle, que la matière agisse par impulsion ou par action à distance dans ce dernier cas. Trabaud voit dans cette diversité d'opinions la preuve que « l'ordre qui regne dans cet Univers est arbitraire de la part du Créateur ».

Pour sa part, Trabaud prône de ne s'en tenir qu'aux phénomènes et « nous pouvons être certains de l'existence des effets, les déduire les uns des autres & les expliquer, quoique nous ne connoissons point la nature de leurs causes » (*ibid.*, p. xv-xvii) ; « on convient assez généralement des effets [...] Ce qui montre bien que pour connoître les effets d'une cause, leur enchainement & leur dépendance mutuelle, il n'est pas nécessaire de connoître sa nature, ni en quoi elle consiste », mais qu'« il suffit que l'on puisse observer la loi suivant laquelle elle agit » (*ibid.*, p. 103). Ainsi, les travaux de Galilée fournissent la loi de la chute libre indépendamment des opinions particulières et des systèmes sur la vraie cause de la pesanteur (*ibid.*, p. xvii). Par ailleurs, « Dieu pourroit produire les choses par lui-même sans se servir des causes secondes, & comme il a pû en les créant choisir un ordre entre plusieurs pour les gouverner & les perpétuer, il est libre de changer le plan qu'il a suivi, & de faire dépendre les mêmes effets de causes entièrement différentes de celles qu'il a établies ». Conséquemment, « la connoissance d'un effet n'est donc pas essentiellement liée avec celle de la cause qui le produit, & ne dévoile point sa nature particulière ». Joindre la connoissance des causes à celle des effets permettrait de perfectionner la science en déduisant ceux-ci de leurs vraies causes, elle remonterait aux premières causes lesquelles conduiraient en retour à l'explication d'autres effets. Elle dévoilerait « la vraie structure de l'Univers », « les principes qui constituent chaque corps » et « les qualités qui leur sont propres » : la loi de chute libre aurait « une liaison évidente » avec le « principe interne » faisant tomber les corps. Mais « la partie de Physique dont l'objet est de pénétrer dans les premières causes [n'a pas] été portée jusqu'à présent à un degré d'évidence capable de convaincre & de dissiper tout doute », et on ne peut être certain que de « l'existence des effets, les déduire les uns des autres & les expliquer, quoique nous ne connoissions point la nature de leurs causes » (*ibid.*)

Trabaud et l'occasionalisme

Ces prises de position de Trabaud ne sont philosophiquement pas neutres. L'exemple précédent du choc impliquant un corps au repos introduit comme illustration de l'occasionalisme mérite rapprochement avec un autre exemple. Ainsi, dans une section dévolue aux chocs des corps et aux règles des collisions, l'auteur souligne que l'« expérience » apprend qu'un corps peut en mouvoir un autre, et qu'ainsi « le mouvement d'un corps est une cause qui produit un nouveau mouvement », tout en ajoutant « ou du moins [qu']un corps qui est mû est un principe d'où le mouvement se communique aux corps qu'il rencontre » (*ibid.*, p. 209). Dans son *Traité de dynamique* de 1743, Jean Le Rond D'Alembert remarque que, parmi les causes capables de produire du mouvement, « les unes se manifestent à nous en même-tems que l'effet qu'elles produisent, ou plutôt dont elles sont l'occasion »¹. Chez Trabaud, ce « du moins », la mention d'un « principe » au lieu d'écrire que le mouvement est « cause », vient apporter une nuance manifestement induite par l'occasionalisme. En effet, il écrit entreprendre ni de « discuter » ni de « décider » si les corps

1 D'Alembert, *Traité de dynamique*, p. x.

en mouvement sont « de vraies causes ». Ainsi, « l'expérience fait voir qu'un corps qui est en repos, cesse d'y être lorsqu'il est rencontré par un corps qui est mû ; mais que cela arrive seulement en vertu d'une loi établie, ou bien parce que dans les corps qui sont mûs, il y a une force agissante & capable de mouvoir, une force qui fasse impression permanente & durable, qui soit elle-même productrice de mouvement », sous chacune de ces deux hypothèses « les effets du choc n'en seront pas moins connus »¹. Pour autant, face à cette alternative de nature « Métaphysique » qui porte sur l'existence d'une seule cause efficiente, à savoir Dieu, ou sur celle de causes secondes, pour Trabaud « la raison décide absolument » : « lorsqu'on considère les corps en repos ou en mouvement, l'esprit ne découvre pas certainement avec évidence qu'il y a en eux quelque vertu ou puissance pour produire quoi que ce soit. Il paroît au contraire conforme à la droite raison de penser que Dieu seul produit le mouvement, & que le choc n'est que comme une occasion qui détermine cet être suprême à mouvoir les corps qui se trouvent sur le passage d'autres corps qui sont déjà en mouvement » (*ibid.*) Ce choc qui « détermine » Dieu à agir n'est pas sans évoquer des passages des œuvres de Malebranche².

Ainsi, si la profession de foi de ne s'en tenir qu'aux phénomènes rapproche Trabaud du credo de Newton de ne pas faire d'hypothèses, en particulier sur la cause de la gravité³, malgré tout la prise en compte des effets, de leur « enchaînement » ou de leur « dépendance mutuelle » pour élaborer une loi comme celle de la gravitation, fait aussi écho chez Trabaud à un autre type d'enchaînement, celui rencontré dans l'exemple classique des occasionnalistes des différentes séquences d'une collision : qu'à l'issue du choc de *A* contre *B* immobile, *A* demeure au repos et *B* possède une certaine vitesse, ne signifie pas que *A* soit la cause réelle de cette mise en mouvement et il faut seulement s'en tenir aux conséquences des phénomènes. Autrement dit, cette épistémologie prônant une physique de type légale est aussi manifestement nécessitée par des prises de positions philosophiques liées à la théorie des causes occasionnelles.

L'« axiome » de proportionnalité des effets aux causes

Puisque « la certitude des phénomènes & des conséquences qui en suivent, n'est pas essentiellement liée à l'examen des causes », Trabaud s'interroge alors sur l'« axiome » de proportionnalité des causes à leurs effets d'usage à l'époque : « mais si dans la science du Mouvement on peut se passer de la considération des causes, que deviendra l'axiome si trivial & d'un usage si fréquent : savoir, *Que les effets sont proportionnels aux causes ?* »⁴. La critique de cet axiome apparaît en 1743 dans le *Traité de dynamique* de D'Alembert et elle figure aussi, mais plus tardivement, chez Maupertuis⁵. Trabaud, dans son livre de 1741, ne reprend donc pas le contenu d'une analyse qui figurerait chez ces deux auteurs. Cet « axiome », comme déjà évoqué, apparaît notamment en tant que premier « axiome » chez

1 Trabaud, *Principes sur le mouvement*, p. 209-210.

2 Voir notamment Malebranche, *Entretiens sur la métaphysique et sur la religion*, OCM XII-XIII, p. 160-161 : « Dieu ne communique pas sa puissance aux créatures, & ne les unit entr'elles, que parce qu'il établit leurs modalités, causes occasionnelles des effets qu'il produit lui-même ; causes occasionnelles, dis-je, qui déterminent l'efficace de ses volontés, en conséquence des lois générales qu'il s'est prescrites » ; RDV, *Eclaircissement XV*, p. 217 : « Dieu par la première des lois naturelles [le mouvement se fait en ligne droite], veut positivement, & fait par conséquent le choc des corps : & qu'il se sert ensuite de ce choc qui l'oblige à varier son action, à cause que les corps sont impénétrables, comme d'une occasion pour établir la seconde loi naturelle [à savoir que les mouvements se communiquent à proportion et selon la ligne de leur pression], qui règle la communication des mouvements ».

3 Newton, *Principes*, TMC, Scholie général, p. 179.

4 Trabaud, *Principes sur le mouvement*, p. xix.

5 Concernant Maupertuis, voir Firode, *La dynamique de D'Alembert*, p. 20-22. Un premier développement critique de la notion de force figure dans l'*Essai de Cosmologie* de 1750 de Maupertuis et il sera complété par la publication de l'*Examen philosophique de la preuve de l'existence de Dieu* (1756) où Maupertuis dénonce les explications causales et en particulier le recours à l'axiome de proportionnalité. Nous revenons ci-dessous sur la critique de D'Alembert.

Varignon¹. Ce savant en donne une illustration à travers l'exemple du choc de deux boules dures qui permet de définir la « *force, ou puissance motrice* » de « l'Agent » – le corps *A* percutant *B* – par laquelle « on n'entendra [...] que ce que l'Agent qui presse, pousse, ou tire ce corps, lui en imprime suivant sa direction », à savoir la quantité de mouvement produite en *B*, cette « impression » étant proportionnelle au mouvement donné².

En réponse à sa question, Traubaud écrit ne pas « exclure toute cause », mais il convient de s'entendre sur le terme : « dans la nature les effets tiennent les uns aux autres ; & par cette dépendance réciproque, ils influent aussi les uns sur les autres ». Aussi un effet produit peut-il, à son tour, « devenir cause & produire d'autres effets »³. Quand bien même la nature des causes serait cachée, cela n'empêcherait pas que « leur efficace, leur puissance, leur action ne se manifeste, & que nous ne puissions comparer les effets par le rapport connu des forces que ces causes exercent ». Aussi les « causes », dans l'axiome, sont « les causes prochaines & immédiates ; ou si l'on entend des premières causes, le sens regarde leur action, & non leur nature ». Traubaud donne alors une origine à la remise en cause de l'axiome :

on dira enfin selon un grand nombre de Philosophes que les corps n'ont ni vertu, ni puissance, ni efficace, ni action, & que c'est Dieu opere tout, que les corps ne sont que des causes apparentes ; qu'ainsi c'est en vain qu'on leur attribue des effets, & que c'est sans raison qu'on prétend que ces effets leur sont proportionnels (*ibid.*)

L'exemple du choc donné par Varignon tend à faire du mobile la véritable « *force, ou puissance motrice* » mais, puisque les corps ne sont que « causes apparentes », il s'agit là d'un abus qui, en retour, interroge la pertinence de l'axiome ; le mobile ne peut pas être cause de l'impression sur l'autre corps et il est vain de proportionner celle-ci à l'action du mobile.

La réponse apportée par Traubaud consiste à affirmer qu'il n'en demeure pas moins que « les corps influent dans les effets, & qu'ils concourent à les produire ». Si Dieu « fait » le choc et « donne » le mouvement au corps immobile par l'intermédiaire d'une collision cela s'opère « dépendamment des masses & des vitesses » et Il règle son action et la grandeur de l'effet qu'Il produit sur ces « circonstances ». Mais, en supposant des causes secondes, on aura « également » cet effet puisque sous les deux hypothèses ce dernier demeure déterminé par les mêmes circonstances. On aboutit donc « aux mêmes vérités » au regard des phénomènes, et « il arrive même que l'on regarde fort souvent cet assemblage de circonstances comme cause de l'effet produit, parce qu'il exprime parfaitement la grandeur de son action, laquelle est proportionnelle à l'effet » (*ibid.*) Sans examiner si la « cause efficiente, c'est-à-dire qui produit le mouvement », provient de l'action divine ou de causes secondes,

il faut cependant reconnoître que la production du mouvement est l'effet d'une cause : or comme on est porté à croire qu'une force se trouve là où elle exerce son action, & qu'elle produit son effet, rien n'empêche que pour la clarté du discours, on ne considère cette force comme appliquée au corps qui choque, & comme faisant impression sur le corps choqué, laquelle demeure dans ce corps pendant tout le temps qu'il est mû ; & parce qu'un corps en mouvement lors même qu'il n'y a point de choc, est tout disposé à exercer sa force sur les corps qu'il peut rencontrer, on peut aussi considérer cette même force comme lui étant appliquée tout le temps qu'il est conservé dans le mouvement, sans qu'il soit pour cela nécessaire de sçavoir si cette force réside véritablement dans ce corps, si elle distinguée de la première cause, ou si elle n'en diffère pas (*ibid.*, p. 210).

1 Voir dans ce chapitre la partie relative à l'explication de la dureté par Varignon.

2 Varignon, *Nouvelle Mécanique*, p. 9-10.

3 Traubaud, *Principes sur le mouvement*, p. xix.

L'usage du terme « force » relève alors de « la clarté du discours ». Malgré tout, l'adhésion à l'occasionalisme soulignée ci-dessus implique que ce que Trabaud prête aux « Philosophes », lesquels estiment que les corps n'ont pas d'efficace, vaut aussi pour lui.

Trabaud fait jouer à l'axiome de proportionnalité un rôle opératoire et il ne remet pas en cause sa pertinence ; il l'invoque pour rejeter la force vive comme mesure de « la force d'un corps en mouvement »¹. Même inconcevable, il existe une « efficace », une « action », une « puissance » productrice de mouvement que son occasionalisme rattache à Dieu. A la prise en compte des seuls effets ne fait pas suite la thèse d'une inutilité de l'axiome de proportionnalité comme cela peut se rencontrer chez D'Alembert, et le fait que Trabaud donne une solution théologique au problème de la causalité n'est sans doute pas étranger à ceci. Le rapport d'effets permet d'élaborer une science, il définit aussi un rapport de forces, mais celles-ci ne sont pas totalement que des noms, puisque rattachées à une efficace divine. Le scepticisme de Trabaud n'est pas celui de D'Alembert, l'inconcevable de la cause ne conduisant pas chez lui à un rejet du concept de force productrice comme c'est le cas pour l'encyclopédiste. Les réflexions de Trabaud ne le conduisent donc pas à une autre manière de penser les fondements de la mécanique qui le conduirait à en évincer des conceptions dynamiques².

Pour autant, la critique de l'axiome de proportionnalité, la prise en compte des effets et de leurs rapports indépendamment – ou à cause – de la diversité des modes de production qu'on considère les causes comme de simples occasions ou comme des causes réelles, l'usage du mot « force » comme un simple mot pour « la clarté du discours », sont autant de thèses manifestement inspirées chez Trabaud par l'occasionalisme et qui annoncent des positions de D'Alembert. L'ouvrage de Trabaud ne contient pas d'allusions explicites aux œuvres de Malebranche³. *A contrario*, Trabaud publie en 1753 un traité d'optique où il évoque « un éclaircissement sur la lumière & les couleurs à la fin du troisième tome de la recherche de la vérité » de Malebranche ; il s'agit de l'*Eclaircissement XVI* dans l'édition de 1712 de *De la recherche de la vérité*, et Trabaud résume les conceptions de la nature de la lumière et des couleurs de Malebranche, dévoilant ainsi une connaissance précise de l'œuvre⁴.

La force d'inertie

Selon Trabaud, la « force d'inertie » est avant tout un effet constaté. La résistance empiriquement éprouvée à une mise en mouvement ne provient ni de la pesanteur du corps, ni du milieu⁵. Puis, « elle n'est pas l'effet d'une vraie force qui réside dans les corps & qui leur soit comme inhérente & naturelle, car outre que l'on ne conçoit pas bien comment il se peut faire qu'une telle force n'agisse qu'au moment du choc ; c'est que l'on ne voit pas non plus

1 Trabaud maintient la proportionnalité dans son analyse du mouvement et lui confère, comme Varignon, le statut d'axiome. Il écrit qu'« une force constante produit pendant des instans égaux des degrez égaux de vitesse. La force variable communique pendant des instans égaux des degrez inégaux de vitesses : or quelle que soit la loi qui règle l'action de la puissance, les degrez de vitesses sont proportionnels à ses efforts ; un effort double communique au corps une vitesse double, un effort triple est suivi d'une vitesse triple. Suivant l'axiome universellement reçu, *Les effets sont proportionnels aux causes qui les produisent* », *ibid.*, p. 38. Dans une section intitulée « Réflexions sur les forces des corps en mouvement, & sur la manière de les comparer », il rejette la mesure leibnizienne de la force du corps en mouvement en s'appuyant sur la proportionnalité de l'effet à sa cause, la force produisant une quantité de mouvement qui lui est proportionnelle, *ibid.*, p. 51-54. D'Alembert rejette tout à la fois les aspects métaphysiques et opératoires de l'axiome, voir Le Ru, *Jean Le Rond D'Alembert philosophe*, Paris, Vrin, 1994, p. 77-92 et ci-dessous.

2 Voir ci-dessous les positions de D'Alembert sur ces questions.

3 Il en est de même de la seconde édition de 1743 de ce livre.

4 Trabaud, *Le Mouvement de la Lumière ou premiers Principes d'Optique*, Paris, Durand et Pissot, 1753, p. 276 et voir plus généralement la section intitulée « La physique de la lumière » p. 271-339 remplaçant notamment les théories de Malebranche par rapport à celles de Descartes. Sur la théorie de Malebranche, voir Partie II, Chapitre I.

5 Trabaud, *Principes sur le mouvement*, p. 213-214. Le savant évoque explicitement les arguments de Mariotte, voir Partie II, Chapitre II dans la section consacrée aux lois fondées sur l'expérience.

comment elle peut résister en même-temps suivant plusieurs directions, lorsqu'un corps est choqué à la fois par plus d'un côté ; ou encore comment elle change de direction suivant le besoin & suivant que la force motrice en change elle-même ». Puisque rien ne peut expliquer cette résistance « au dehors & au-dedans », « il s'ensuit qu'elle ne peut être que l'effet immédiat de la volonté du Créateur, qui par un choix très-libre, a voulu que le choc ou l'impulsion fût un moyen pour communiquer le mouvement, & que la résistance des corps pût occasionner le choc : car sans la résistance le choc n'est pas bien intelligible : un corps ne s'applique à un autre, & ne le presse qu'autant que celui-ci lui résiste » (*ibid.*, p. 214-215). Trabaud écrit alors que « M. Neuton appelle *force d'inertie* la résistance que les corps font au mouvement. Il lui attribue une réaction qui est égale à l'action que la force motrice exerce sur le corps qu'elle meut. Si ces expressions ne signifient rien de plus que le fait qu'on vient d'exposer, rien n'empêche qu'on en fasse usage » (*ibid.*, p. 216-217)¹. Ainsi, « *force d'inertie* » et « réaction » doivent s'entendre comme des « expressions » résumant un effet constaté, à savoir une résistance laquelle, comme souligné précédemment, ne relève pas d'une « vraie force qui réside dans les corps & qui leur soit comme inhérente & naturelle ».

Conserver le terme de force pour la « clarté du discours », c'est en substance la pratique de Crousaz et Privat de Molières concernant la « réaction » et la « force d'inertie » ; ils ne conservent les expressions que par commodité et, finalement, pour abrégé le discours. Trabaud se distingue de Crousaz et Molières qui estiment inutiles la résistance du corps au repos. Pour sa part, il confère au mouvement et au repos la même valeur ontologique, et l'inertie correspond à une résistance qui vient compléter l'énoncé malebranchiste d'une loi de persistance qui ne porte que sur le mouvement. Malgré tout, si pour les uns, l'effet constaté (la perte de mouvement d'un mobile heurtant un corps au repos) dérive d'une interaction pensée sur le mode agent-patient et si, pour Trabaud, il provient d'une résistance conceptualisée et relevant d'une volonté de Dieu, dans les deux cas de figure, la « *force d'inertie* » s'entend avant tout comme un nom.

D'ALEMBERT ET LE REJET D'UNE MECANIQUE CAUSALE

La mécanique sans la nature des choses

D'Alembert recourt au mot « dynamique » dans l'intitulé de son *Traité de dynamique* pour « annoncer aux Geomètres » l'objet de ce livre à savoir « la Science du Mouvement des Corps, qui agissent les uns sur les autres d'une manière quelconque »². L'entrée « Dynamique » de l'*Encyclopédie* rapporte aussi que le mot définit « la science des puissances ou causes motrices » et que « Leibnitz est le premier qui se soit servi de ce terme ». La suite de l'article évoque un tout autre sens que celui de Leibniz et montre à quel point D'Alembert privilégie une tout autre manière de traiter de l'action des corps entre eux en revendiquant une science qui ne s'appuierait sur « aucune métaphysique mauvaise ou obscure » et ne ferait usage « ni des actions ni des forces »³. Les principes de la dynamique doivent être notamment marqués du sceau de la clarté⁴.

1 Le « fait exposé » consiste en une série d'exemples où, notamment, un corps qui en percute un autre immobile perd de son mouvement, phénomène attribué à la résistance du corps percuté.

2 D'Alembert, *Traité de dynamique*, p. xxij. Voir D'Alembert, « Dynamique », *Encyclopédie*, t. V, p. 174b : « Le mot *Dynamique* est fort en usage depuis quelques années parmi les Géomètres, pour signifier en particulier la science du mouvement des corps qui agissent les uns sur les autres, de quelque manière que ce puisse être, soit en se poussant, soit en se tirant par le moyen de quelque corps interposé entr'eux, & auquel ils sont attachés, comme un fil, un levier inflexible, un plan, &c. » Il s'agit d'une mécanique de système à liaisons qui se développe essentiellement à partir des années 1730.

3 D'Alembert, « Dynamique », *Encyclopédie*, t. V, p. 176a.

4 D'Alembert, *Traité de dynamique*, p. iv.

D'Alembert développe alors une réflexion critique sur les principes et les concepts de la dynamique¹. Il entend « reculer les limites de la Mécanique, & [...] en applanir l'abord », en prônant de réduire le nombre de ses principes – ce qui les rend « plus féconds » et permet d'en évincer d'autres jugés inutiles – et de les fonder avec « clarté » – évitant ainsi les controverses inhérentes à l'obscurité d'énoncés. Il juge la plupart des principes « ou obscurs par eux-mêmes, ou énoncés & démontrés d'une manière obscure », constat l'incitant à les déduire des notions « les plus claires » en particulier à l'aide du seul « Mouvement » conçu comme « le premier & le principal objet de la Mécanique »². Le mouvement renvoie « clairement » à deux choses, l'espace parcouru et le temps employé à ce parcours, et « c'est de cette seule idée qu'il faut déduire tous les principes de la Mécanique »³. D'Alembert distingue « au moins par l'esprit » deux sortes d'étendue : l'une prise pour impénétrable et permettant de définir et distinguer les corps entre eux et l'autre qui, « sans examiner si elle est pénétrable ou non, soit la mesure de la distance d'un Corps à un autre, & dont les parties envisagées comme fixes & immobiles, puissent servir à juger du repos ou du Mouvement des Corps », autrement dit « un espace indéfini comme le lieu des Corps, soit réel, soit supposé » à partir duquel se forme une idée « claire » du mouvement⁴.

Ces propos sont révélateurs de la manière dont D'Alembert introduit le cadre conceptuel de la mécanique. En effet, il critique Descartes et ceux qui le suivent qui conçoivent en premier lieu que l'essence de la matière est l'étendue et qui ensuite introduisent le mouvement qui doit donc se plier à cette métaphysique. Pour D'Alembert, cette méthode qui implique un univers plein rend impensable et impossible le mouvement et, pour sa part, il introduit d'abord le mouvement car c'est l'objet premier de la mécanique et ensuite l'espace qui doit permettre d'avoir « une idée claire du mouvement » et être un objet géométrique ; en somme le concept d'espace est introduit uniquement de telle sorte qu'il rende possible une définition mathématique du mouvement. Ensuite, D'Alembert considère cet espace comme le lieu des corps « soit réel, soit supposé », autrement dit il ne s'interroge pas sur le statut de cet espace, à savoir relatif ou absolu, et il s'agit là d'un rejet des conceptions newtoniennes. Ce mouvement se définit donc relativement à d'autres corps considérés comme fixes et puisque D'Alembert fait du « mouvement uniforme » la mesure du temps « la plus simple » et celle « dont il est le plus naturel de penser à se servir », la durée correspond aussi à une simple relation⁵. Pour D'Alembert l'espace et le temps seraient des « notions naturelles », présentes dans « tous les hommes », sur lesquelles les esprits devraient s'accorder et que « la Philosophie seule a le privilège d'obscurcir et d'embrouiller ». Il juge alors « étrangère et inutile » à la mécanique des réflexions sur la nature de ces notions⁶. Si le mouvement et ses propriétés sont l'objet principal de la mécanique *a contrario*, la « Métaphysique obscure & contentieuse » sur la nature du mouvement est « étrangère à cette science » qui suppose l'existence du mouvement et en tire « une foule de vérités utiles » ; D'Alembert écrit que

1 Pour des études sur le rejet d'une mécanique de type causale, la critique des forces, celles de principes (celui de la proportionnalité des effets à leurs causes, celui des forces vives, celui de la moindre action), une critique des démonstrations usuelles de certains principes (celui de l'équilibre, du mouvement composé, de l'inertie), voir Firode, *La dynamique de D'Alembert* ; Le Ru, *Jean Le Rond D'Alembert philosophe*.

2 D'Alembert, *Traité de dynamique*, p. xvj et iv.

3 D'Alembert, « Force vive », *Encyclopédie*, t. VII, p. 114b.

4 D'Alembert, *Traité de dynamique*, p. vj. L'« impenétabilité est la propriété principale par laquelle nous distinguons les Corps des parties de l'espace indéfini, où nous imaginons qu'ils sont placés », *ibid.*, p. 1.

5 *Ibid.*, p. 10.

6 D'Alembert, *Eclaircissements sur différens endroits des élémens de philosophie*, dans *Mélanges de Littérature, d'Histoire et de Philosophie*, t. V, Amsterdam, Z. Chatelain et Fils, 1767, p. 270-271. Sur ces « notions naturelles », voir Firode, *La dynamique de D'Alembert*, p. 82-84.

tandis que Zénon en serait encore à s'interroger si les corps se meuvent, Newton aurait trouvé son système du monde¹.

Cet appel au mouvement tient au refus de développer une physique causale, D'Alembert écrivant « détourne[r] la vûe de dessus les *causes motrices*, pour n'envisager que le Mouvement qu'elles produisent » et qualifiant les « forces inhérentes » au mobile d'« êtres obscurs & Métaphysiques »². Aussi dénonce-t-il « cet axiome vague & obscur, que l'effet est proportionnel à sa cause », lequel sert de fondement à la mesure de la « force accélératrice » – à savoir une accélération – et qu'il considère être le point de départ de la querelle des forces vives³. Cette « force accélératrice » n'exprime que le rapport d'un élément de vitesse à un autre de temps, ce rapport mathématique définissant l'objet dit « force accélératrice »⁴. La mesure de la force d'un corps en mouvement conduit à la querelle des forces vives, vaine polémique une fois la force entendue comme la capacité à vaincre un obstacle ou à résister : selon le type de résistance qu'oppose l'obstacle, la force peut se mesurer par la quantité de mouvement ou par le produit de la masse du corps par le carré de sa vitesse, et puisqu'elle n'exprime qu'un effet D'Alembert ne voit pas d'« inconvénient » à la coexistence de ces deux mesures⁵. Principes et concepts de la mécanique se doivent d'être simples et clairs en vue d'une utilisation mathématique, sans renfermer de présupposés métaphysiques et sans s'attacher à la nature des choses qu'ils renseignent : ils obéissent à des critères méthodologiques de clarté et se voient introduits en vertu de leur portée opératoire⁶.

L'impénétrabilité et le mouvement permettent de démontrer les trois principes à la base du *Traité de dynamique* – celui de la « force d'inertie », du « mouvement composé », de l'« équilibre » – dont la combinaison fournit un « Principe général » dit principe de D'Alembert à partir duquel le savant résout tous les problèmes de dynamique⁷. Ainsi, D'Alembert réduit le nombre des principes qu'il démontre, il unifie et fonde la dynamique autour du seul principe viable à la pratique du « Philosophe Mécanicien »⁸. En répondant à des enjeux épistémologiques forts et en déterminant des méthodes de résolutions particulières, le principe de D'Alembert n'est alors pas « philosophiquement neutre »⁹.

1 D'Alembert, « Elémens des sciences », *Encyclopédie*, t. V, p. 493a-494b et D'Alembert, *Essai sur les élémens de philosophie*, dans *Mélanges de littérature, d'histoire et de philosophie*, t. IV, Amsterdam, Zacharie Chatelain, 1759, p. 27-29.

2 D'Alembert, *Traité de dynamique*, p. xvj.

3 *Ibid.*, p. xj sur cet « axiome » au fondement de la mesure de la force accélératrice. D'Alembert écrit qu'« il y a beaucoup d'apparence que si on ne s'étoit jamais avisé de dire que les effets sont proportionnels à leurs *causes*, on n'eût jamais disputé sur les forces vives [...] Car tout le monde convient des effets. Que n'en restoit-on là ? Mais on a voulu subtiliser, & on a tout brouillé au lieu d'éclaircir tout », D'Alembert, « Cause », *Encyclopédie*, t. II, p. 790b.

4 Sur le principe de la « force accélératrice » comme définition, voir Le Ru, « La force accélératrice : un exemple de définition contextuelle dans le *Traité de Dynamique* de d'Alembert », *Revue d'Histoire des Sciences*, 47 (3), 1994, p. 475-494 ; Firode, *La dynamique de D'Alembert*, p. 36-42 ; Le Ru, *Jean Le Rond D'Alembert philosophe*, p. 93-98 et plus généralement ce dernier livre sur la théorie de la définition chez D'Alembert.

5 D'Alembert, *Traité de dynamique*, p. xx.

6 Sur ces questions, voir Firode, *La dynamique de D'Alembert*, et Le Ru, *D'Alembert philosophe*.

7 Sur la démonstration de ces principes, voir Firode, *La dynamique de D'Alembert*, p. 85-116. Pour ce principe, voir D'Alembert, *Traité de dynamique*, p. 49-51 et D'Alembert, « Dynamique », *Encyclopédie*, t. V, p. 175a-175b : « Imaginons qu'on imprime à plusieurs corps, des mouvemens qu'ils ne puissent conserver à cause de leur action mutuelle, & qu'ils soient forcés d'altérer & de changer en d'autres. Il est certain que le mouvement que chaque corps avoit d'abord, peut être regardé comme composé de deux autres mouvemens à volonté [...], & qu'on peut prendre pour l'un des mouvemens composans celui que chaque corps doit prendre en vertu de l'action des autres corps. Or si chaque corps, au lieu du mouvement primitif qui lui a été imprimé, avoit reçu ce premier mouvement composant, il est certain que chacun de ces corps auroit conservé ce mouvement sans y rien changer, puisque par la supposition c'est le mouvement que chacun des corps prend de lui-même. Donc l'autre mouvement composant doit être tel qu'il ne dérange rien dans le premier mouvement composant, c'est-à-dire que ce second mouvement doit être tel pour chaque corps, que s'il eût été imprimé seul & sans aucun autre, le système fût demeuré en repos ».

8 Pour l'expression « Philosophe Mécanicien », voir D'Alembert, *Essai sur les élémens de philosophie*, p. 184. Le chapitre de l'*Essai* d'où vient cette expression reproduit la partie de la « Préface » du *Traité de dynamique* où figurent les trois principes, la manière de les démontrer et l'énoncé du « Principe général ».

9 Firode, *La dynamique de D'Alembert*, p. 9.

Inconcevabilité des causes et science des effets

Différents éléments des conséquences de ces critiques dalembertiennes font échos à des réflexions de Crousaz, Molières et Traubaud exposées ci-dessus.

Selon D'Alembert, la mécanique s'entend avant tout la science des effets mesurés : le rejet des « causes motrices » et le fait de ne s'attacher qu'au seul mouvement invitent à « envisage[r] plutôt la Mécanique comme la science des effets, que comme celle des causes »¹ ; D'Alembert écrit que « nous ne prendrons jamais le rapport de deux forces que pour celui de leurs effets »². Chez Traubaud, le choix de ne s'en tenir qu'aux seuls effets est lié à la diversité des thèses en présence, qu'on conçoive un mode d'action *via* des causes occasionnelles ou des causes secondes. Aussi, précise Traubaud, indépendamment de la nature de la cause, « on convient assez généralement des effets » et « il suffit » de savoir « la loi suivant laquelle elle agit », Galilée illustrant une démarche indépendante d'une quête de la « vraie cause ». Ces réflexions s'avèrent proches de celles de Maupertuis dans son *Discours sur les différentes figures des astres*³. Maupertuis s'appuie indéniablement sur l'interrogation que porte l'occasionalisme sur la causalité pour soutenir que l'action à distance de la loi de la gravitation newtonienne n'est pas plus inconcevable que l'explication de la gravité par l'impulsion d'un fluide sur les corps ou, plutôt, que ces deux types de causes – force à distance, force de contact – s'avèrent tout aussi inconcevables. En somme, il s'agit pour Maupertuis d'affirmer que l'impulsion est tout aussi incompréhensible que l'attraction et de soutenir alors que les néo-cartésiens ont tort de reprocher à Newton d'introduire une cause incompréhensible – la force à distance – alors qu'eux-mêmes jugent que le choc, sur lequel ils fondent leurs explications, n'est pas plus compréhensible. Maupertuis évoque alors la solution théologique au problème de la causalité prônée par l'occasionalisme, l'impulsion n'étant qu'une cause occasionnelle déterminant l'efficace divine (sous la forme d'une « vertu impulsive ») à agir, pour demander s'il n'est pas plus difficile à Dieu de faire s'attirer deux corps éloignés que de les mouvoir lors d'un choc :

des Philosophes n'auront garde de croire que la force impulsive soit plus concevable que l'attractive ? comment réside-t-elle dans les corps ? qui eût pu deviner qu'elle y réside, avant que d'avoir vu des corps choquer ? la résidence des autres propriétés dans les corps n'est pas plus claire. Comment l'impenétrabilité, & les autres propriétés viennent-elles se joindre à l'étendue ? Ce seront là toujours des mystères pour nous. Mais dira-t-on peut-être, les corps n'ont point de force impulsive. Un corps n'imprime point le mouvement au corps qu'il choque ; c'est Dieu lui-même qui meut le corps choqué, ou qui a établi des loix pour la communication de ces mouvements. Ici l'on se rend sans s'en apercevoir. Si les corps en mouvement n'ont point la propriété d'en mouvoir d'autres ; si lorsqu'un corps en choque un autre, celui-ci n'est mu que parce que Dieu le meut, & s'est établi des loix pour cette distribution de mouvement ; de quel droit pourroit-on assurer que Dieu n'a pu vouloir établir de pareilles loix pour l'attraction ? Dès qu'il faut recourir à un Agent tout-puissant, & que le seul contradictoire arrête, il faudroit que l'on dît que l'établissement de pareille loix renfermoit quelque contradiction : mais c'est ce qu'on ne pourra pas dire ; & alors est-il plus difficile à Dieu de faire tendre ou mouvoir l'un vers l'autre deux corps éloignés, que d'attendre, pour le mouvoir, qu'un corps ait été rencontré par un autre ?⁴

Sur fond de scepticisme, il conclut sur l'impossibilité d'avoir des corps des « idées complètes » et, par conséquent, de savoir s'il faut concevoir la gravité comme une propriété appartenant à la matière ou non⁵ ; pour sa part, Traubaud note l'impossibilité de concevoir la

1 D'Alembert, *Traité de dynamique*, p. xxiiij.

2 *Ibid.*, p. 26.

3 Maupertuis, *Discours sur les différentes figures des astres, où l'on essaye d'expliquer les principaux phénomènes du Ciel*, dans *Œuvres de Mr. de Maupertuis*, t. I, Lyon, Jean-Marie Bruyset, 1756.

4 *Ibid.*, p. 98-99.

5 *Ibid.*, p. 94.

« nature » de la cause. Dans d'autres passages de son œuvre, Maupertuis évoque explicitement à l'occasionalisme de Malebranche :

un Philosophe moderne très-subtil, qui regarde Dieu comme l'auteur du premier mouvement imprimé à la matière, croit encore l'action de Dieu continuellement nécessaire pour toutes les distributions & les modifications du mouvement. Ne pouvant comprendre comment la puissance de mouvoir appartiendrait au corps, il s'est cru fondé à nier qu'elle lui appartint ; & à conclure que lorsqu'un corps choque ou presse un autre corps, c'est Dieu seul qui le meut : l'impulsion n'est que l'occasion qui détermine Dieu à le mouvoir (a)¹.

La note « (a) » renvoie laconiquement à « *Malebranche* ». Pour Maupertuis et Traubaud, il importe ainsi de s'en tenir qu'aux effets. Mais le raisonnement de Traubaud vise probablement à limiter une explication physique qui reposerait sur les causes secondes au détriment de la doctrine occasionaliste à laquelle il paraît souscrire ; si Traubaud écrit ne pas examiner « la nature » des forces, c'est aussi, et peut-être avant tout, parce que l'inconcevabilité de la cause renvoie à celle de l'efficace divine.

Le raisonnement de Maupertuis résumé ci-dessus se retrouve chez D'Alembert notamment dans l'article « Attraction » de l'*Encyclopédie* qui se réfère au *Discours sur les différentes figures des astres*². Les réflexions de D'Alembert sur la causalité s'enracine dans un contexte de « crise de la causalité » lié aux réflexions engagées par les philosophes occasionalistes qui conduisent à « un mouvement de scepticisme quant à la possibilité de connaître la nature des causes du mouvement autrement que par leurs effets », les effets c'est-à-dire, en l'occurrence, les mouvements et non ce qui les produisent³. Plusieurs occurrences suggèrent que la prise en compte des seuls effets chez D'Alembert relève d'un tel contexte.

Ainsi, pour D'Alembert, « les phénomènes sont le seul moyen de juger l'attraction »⁴, et s'ils s'accordent en faveur de l'attraction il faut alors l'admettre « dût-on se résoudre à n'avoir pas une idée plus nette de la vertu par laquelle les corps s'attirent que de celle par laquelle ils se choquent ». Mais

croit-on avoir une idée claire de la vertu impulsive des corps [...] peut-on concevoir d'une manière distincte cette vertu secrète par laquelle le mouvement se transmet d'un corps dans un autre ? Les phénomènes nous prouvent l'existence de la matière, sans nous rien apprendre sur sa nature. Les mêmes phénomènes nous font connaître les forces qui agissent sur elle, sans nous éclairer sur la nature de ces forces⁵.

Aussi,

personne ne doute qu'un corps qui en rencontre un autre ne lui communique du mouvement : mais avons-nous une idée de la vertu par laquelle se fait cette communication ? [...] Quand nous saurions en quoi consiste l'impenétrabilité des corps, nous n'en serions peut-être guère plus éclairés sur la nature de la force impulsive. Nous voyons seulement, qu'en conséquence de cette impenétrabilité, le choc d'un corps contre un autre doit être suivi de quelque changement [...] mais nous ignorons, & apparemment nous ignorerons toujours, par quelle vertu ce changement s'exécute⁶.

Il convient alors de « suspendre notre jugement sur la nature de la force qui produit [les] effets » et, quand « la cause est inconnue, nous pouvons considérer simplement l'effet, sans

1 Maupertuis, *Essai de cosmologie*, dans *Œuvres de Mr. de Maupertuis*, t. I, p. 28.

2 D'Alembert, « Attraction », *Encyclopédie*, t. I, p. 855b.

3 Le Ru, *La crise de la substance*, p. 127-128, p. 143, p. 183. L'auteur fait un rapprochement entre, d'un côté, l'occasionaliste De La Forge soutenant que les actions réciproques entre l'âme et le corps et celles entre les corps sont inconcevables et, de l'autre, l'argumentation de Maupertuis et D'Alembert sur l'inconcevabilité de l'action.

4 D'Alembert, *Essai sur les élémens de philosophie*, p. 244.

5 *Ibid.*, p. 240-241.

6 D'Alembert, « Attraction », *Encyclopédie*, t. I, p. 854b.

avoir égard à la cause ». La cause devient du « ressort du physicien » lorsqu'elle est « sensible », c'est-à-dire quand « elle paroît elle-même l'effet de quelque cause plus relevée : (car la cause immédiate d'un effet ne paroît elle-même qu'un effet, la première cause étant invisible) », et on peut très bien supposer autant de types de causes qu'on voudra pour un phénomène donné, par exemple l'attraction, « sans que cela puisse nuire aux effets » (*ibid.*, p. 850a). Par ailleurs,

les actions mêmes les plus palpables & les plus sensibles n'ont point une cause entièrement connue : les plus profonds philosophes ne sauroient concevoir comment l'impulsion produit le mouvement, c'est-à-dire, comment le mouvement d'un corps passe dans un autre par le choc : cependant la communication du mouvement par l'impulsion est un principe admis, non-seulement en Philosophie, mais encore en Mathématique (*ibid.*)

Conséquemment les phénomènes dûment établis, telle que la gravitation newtonienne, doivent aussi « passer de la Physique dans les Mathématiques » sans s'embarrasser à approfondir les causes : « il est permis de les regarder comme causes occultes, (car toutes les causes le sont, à parler exactement) & de s'en tenir aux effets, qui sont la seule chose immédiatement à notre portée » (*ibid.*) Ces propos résonnent avec ceux de Trabaud, en particulier ces idées que l'objet du physicien est l'enchaînement des effets et non l'enchaînement cause-effet et, par ailleurs, que la réalité des effets est donnée indépendamment de la connaissance du type de causes dont il n'y a pas lieu de s'embarrasser.

L'article « Communication du mouvement » de l'*Encyclopédie* s'ouvre par l'affirmation que « la raison métaphysique, & le principe primitif de la *communication du mouvement*, sont des sujets à beaucoup de difficultés ». D'Alembert souligne que

Le P. Malebranche prétend que la *communication du mouvement* n'est point nécessairement dépendante de principes physiques, ou d'aucune propriété des corps, mais qu'elle procède de la volonté & de l'action immédiate de Dieu. Selon lui, il n'y a pas plus de connexion entre le mouvement ou le repos d'un corps, & le mouvement ou le repos d'un autre, qu'il n'y en a entre la forme, la couleur, la grandeur, &c. d'un corps & celle d'un autre ; & ce philosophe conclut de-là, que le mouvement du corps choquant n'est point la cause physique du mouvement du corps choqué¹.

D'Alembert critique cette absence de « connexion », et estime qu'en vertu de l'impénétrabilité des corps il est nécessaire que la collision produise des changements dans leurs mouvements : « l'impénétrabilité des corps, qui est une de leurs propriétés essentielles, demandant nécessairement que le choc de deux corps produise du changement dans leur état, il a été nécessaire au Créateur d'établir des lois générales pour ces changements »². L'impénétrabilité rend nécessaire qu'il existe des lois du choc que D'Alembert estime par ailleurs nécessaires³. Malgré tout,

quoique l'expérience & le raisonnement nous aient instruits sur les lois de la *communication du mouvement*, nous n'en sommes pas plus éclairés sur le principe métaphysique de cette *communication*. Nous ignorons par quelle vertu un corps partage, pour ainsi dire, avec un autre le mouvement qu'il a ; le mouvement n'étant rien de réel en lui-même, mais une simple manière d'être du corps, dont la

1 D'Alembert, « Communication du mouvement », *Encyclopédie*, t. III, p. 727b-728a.

2 *Ibid.*, p. 728a. Comme le souligne Firode, « l'opposition que D'Alembert croit entretenir ici à l'égard de Malebranche est cependant moins grande qu'il paraît le penser. Malebranche n'a en effet jamais prétendu que le fait même qu'il y ait des lois du choc relève de l'arbitraire de la volonté divine. Le décret divin n'institue que la forme déterminée du changement du mouvement, et non la nécessité pour les corps de changer leurs mouvements en raison de leur impénétrabilité », voir Firode, « Les lois du choc et la rationalité de la mécanique selon D'Alembert », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, vol. 21, n° 1, 1996, p. 120.

3 D'Alembert affirme que la cause métaphysique du choc ne réside pas dans les corps mais que les lois de la communication sont nécessaires et déterminées par les propriétés des corps. Sur ce point, Firode, « Les lois du choc et la rationalité de la mécanique ».

communication est aussi difficile à comprendre que le seroit celle du repos d'un corps à un autre corps. Plusieurs philosophes ont imaginé les mots de *force*, de *puissance*, d'*action*, &c. qui ont embrouillé cette matière au lieu de l'éclaircir [...] Tenons nous-en donc au simple fait, & avouons de bonne foi notre ignorance sur la cause première¹.

Ainsi, l'occasionalisme conduit « au refus sceptique de considérer les causes et les forces autrement que par leurs effets, ce qui produit une laïcisation de la science qui s'autorise à établir des lois, compte non tenu des causes »².

L'argumentation de l'inconcevabilité de la cause dans le débat sur la nature de l'attraction est largement présente au XVIII^e siècle en référence explicite avec l'occasionalisme. Ainsi Bertier reprend finalement les propos de Maupertuis et de D'Alembert en remarquant que, selon des « Cartésiens », les corps n'ont pas de force propre et que le mouvement se produit à l'occasion du choc par un autre corps ; mais « Dieu ne peut-il pas conserver ou transporter ce corps successivement en plusieurs lieux qu'à l'occasion du choc de ce second corps ? n'est-il pas libre à l'Être suprême de le conserver successivement en plusieurs lieux à l'occasion de la co-existence seule de ce second corps ? » En somme, sans disconvenir de l'existence de l'impulsion dans des phénomènes, « Dieu n'a-t-il donc qu'une voie dans ses opérations ? »³ Charles Hercule de Keranflech, qui reconduit le système des petits tourbillons de Malebranche⁴, s'appuie sur l'occasionalisme pour critiquer ceux qui, dans le cadre de la philosophie mécanique, estiment l'impulsion plus concevable que l'attraction :

les corps n'étant capables, ni de se remuer eux-mêmes, ni d'en remuer d'autres, soit par impulsion, soit par attraction, comme vraies causes ; ils ne sont tous meus qu'en conséquence d'une loi primordiale, à laquelle Dieu s'est librement & préférablement déterminé, à qu'il exécute aussi lui-même. Or, ayant été libre à Dieu de remuer les corps, selon le mécanisme de *l'impulsion* ou de *l'attraction*, ou selon quelqu'autre ; la seule expérience peut nous instruire du parti qu'il a pris. Ce n'est point une raison à alléguer, contre le mécanisme de l'attraction, qu'*il est inconcevable qu'un corps en attire d'autres*. Ceux qui parlent ainsi, s'imaginent que les corps se meuvent mutuellement, comme vraies causes ; &, en ce cas, ils ne conçoivent pas mieux *l'impulsion*, que *l'attraction* : car elles sont également chimériques. Ce qu'on entend le mieux, la seule chose qui soit intelligible & qui soit vraie, c'est que les corps sont des substances passives, & qu'ils ne sont ni poussés, ni attirés qu'en conséquence d'une loi primordiale que Dieu a librement établie, & qu'il exécute par lui-même⁵.

Alors, « la seule expérience peut nous instruire du parti qu'il [Dieu] a pris ». Celle-ci atteste que l'impulsion et la matière existent comme deux « principes réels », idée défendue à la fois par les « cartésiens » et les « newtoniens », et « s'ils suffisent pour l'explication de la Nature entière, il est contre toute méthode, & absolument contre toute philosophie, d'en admettre d'autres ». Il faut donc les combiner ensemble et « si on n'obtient pas d'une combinaison le résultat qu'on cherche, il en faut faire une autre. Mais jusqu'à ce qu'on ait épuisé toutes les combinaisons possibles, & qu'on soit bien assuré de l'avoir fait, on ne peut, ni introduire d'autres causes, ni multiplier les principes. Ce ne seroit plus philosopher »⁶. On voit dans ce dernier cas la manière dont Keranflech s'approprie les raisonnements de Maupertuis et de D'Alembert – l'impulsion n'est pas plus concevable que l'attraction – tout en privilégiant pour sa part la causalité par contact en invoquant une économie de principes.

L'axiome de proportionnalité cause-effet et la force comme un nom

1 D'Alembert, « Communication du mouvement », *Encyclopédie*, t. III, p. 729a.

2 Le Ru, *La crise de la substance*, p. 183.

3 Bertier, *Physique du Ciel*, t. II, p. 3-4.

4 Les Chapitres II à V de la Partie II reviendront sur les travaux de Keranflech.

5 Charles Hercule de Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne, pour servir d'éclaircissement au livre de l'Hypothèse des petits tourbillons*, Rennes, Julien-Charles Vatar, 1774, p. 79-80.

6 *Ibid.*, p. 80-82.

Le rejet de l'interprétation dynamiste du principe fondamental de la dynamique – la force proportionnelle à l'accélération qu'elle produit –, principe « appuyé sur cet unique axiôme vague & obscur, que l'effet est proportionnel à sa cause »¹, illustre la thèse de la mécanique conçue comme une science des effets ; le rapport mathématique, et lui seul, d'une variation de vitesse à un incrément de temps acquiert le statut de simple définition de la « force accélératrice ». La comparaison de deux forces passe par celle de leurs effets, « sans examiner si l'effet est réellement comme sa cause, ou comme une fonction de sa cause », ce dernier examen s'avérant « entièrement inutile, puisque l'effet est toujours donné indépendamment de la cause, ou par expérience, ou par hypothèse »². Au demeurant, D'Alembert juge l'axiome « de peu de justesse & de précision » puisqu'une « même cause » diversement appliquée peut produire des effets différents³.

Au-delà de cette dénonciation directe de l'axiome, dans le *Discours préliminaire* de l'*Encyclopédie* la justification que donne D'Alembert de l'existence des corps extérieurs par le témoignage de nos sensations passe par le fait que les mêmes effets naissent des mêmes causes, une réflexion qui implique alors cet axiome de proportionnalité⁴. Concernant la relation entre ces sensations et ces causes, D'Alembert écrit que « n'y ayant aucun rapport entre chaque sensation & l'objet qui l'occasionne, ou du moins auquel nous la rapportons, il ne paroît pas qu'on puisse trouver par le raisonnement de passage possible de l'un à l'autre »⁵. Le propos « exprime l'impossibilité de rendre commensurables la sensation et l'objet », et il est possible de remplacer le couple sensation-objet par d'autres couples tels que passions-mouvements des esprits animaux ou mouvement du corps *A*-mise en mouvement de *B* par un choc : « cette variation fait apparaître au bout du compte une crise de la causalité résumée dans la remise en question de l'axiome *l'effet est proportionnel à sa cause* » ; l'usage du verbe occasionner apparaît comme « un indice en creux d'un problème, à savoir celui de l'assignation d'un rapport de causalité quand la cause et l'effet ne sont pas homogènes »⁶. Un passage cité plus haut de l'article « Communication du mouvement » souligne aussi cette hétérogénéité entre ce qui est de l'ordre du « principe métaphysique » de la communication pour laquelle « il n'y a point de doute que la volonté du Créateur ne soit la cause primitive & immédiate » et le mouvement qui n'est « rien de réel en lui-même » mais un mode du corps⁷. Mais au-delà des occurrences évoquant de quelle manière D'Alembert hérite de ce contexte de crise de la causalité, et ce ici à travers cet « axiome » de proportionnalité, Trabaud offre le témoignage direct d'une mise en doute du bien-fondé de l'axiome déterminée par l'occasionalisme. On ne trouve pas de critique de l'axiome chez Maupertuis avant la première

1 D'Alembert, *Traité de dynamique*, p. xj.

2 *Ibid.*, p. 19. D'Alembert distingue deux « espèces » de causes, celles issues de l'impulsion et dont les effets résultent de l'impénétrabilité des corps, et celles d'une origine inconnues telle que la gravité et qui ne paraît pas résulter du choc des corps. Les premières ont des « lois connues », à savoir les règles du choc, que D'Alembert détermine aprioriquement. Les deuxièmes causes ne sont connues qu'expérimentalement, comme la pesanteur. Dans les deux cas, les lois règles les effets indépendamment de la connaissance de la nature des causes et l'axiome de proportionnalité n'est d'aucune utilité. Voir D'Alembert, « Cause », *Encyclopédie*, t. II, p. 790a-790b. Par ailleurs, la loi réglant le mouvement d'un corps au cours du temps peut être une pure « hypothèse » posée par le mathématicien.

3 D'Alembert, *Traité de dynamique* (1758), p. xxii-xxiii. D'Alembert prend l'exemple d'un corps ayant « une simple tendance à se mouvoir avec une certaine vitesse, tendance arrêtée par un obstacle », ou le même corps animé d'un mouvement uniforme, ou encore subissant une perte progressive de vitesse : « dans tous ces cas, l'effet produit par le Corps est différent, mais le Corps considéré en lui-même n'a rien de plus dans un cas que dans un autre ; seulement l'action de la cause qui produit l'effet est différemment appliquée ». Voir aussi *Traité de dynamique*, 1743, p. 139-140 et « Cause », *Encyclopédie*, t. II, p. 790a-790b sur le fait que l'axiome peut être source d'erreur. Ce dernier point distingue D'Alembert de Trabaud, celui-ci ne récusant pas la pertinence de l'axiome.

4 Voir Le Ru, *Jean Le Rond D'Alembert philosophe*, p. 140-144 et Le Ru, *La crise de la substance*, p. 185-188.

5 D'Alembert, *Discours préliminaire*, *Encyclopédie*, t. I, p. ij.

6 Le Ru, *La crise de la substance*, p. 187-188.

7 D'Alembert, « Communication du mouvement », *Encyclopédie*, t. III, p. 728a et 729a.

édition du *Traité de dynamique* et il semble redevable sur ce point à D'Alembert¹ ; en 1741, Traubaud ne reprend donc pas une analyse présente chez ces deux auteurs.

Le principe fondamental de la dynamique devient légitime pour D'Alembert lorsqu'il exprime simplement « l'Equation différentio-différentielle de la courbe » reliant l'espace au temps pour un mouvement quelconque². Dès lors, D'Alembert écrit ne se servir « du terme obscur de *force* » que pour « éviter les circonlocutions » (*ibid.*, p. xxv), « pour abréger & pour nous conformer à l'usage ordinaire » (*ibid.*, p. 19) ; il écrit aussi que « plus l'obstacle qu'un Corps peut vaincre, ou auquel il peut résister, est considérable, plus on peut dire que sa *force* est grande, pourvu que sans vouloir représenter par ce mot un prétendu être qui réside dans le Corps, on ne s'en serve que comme d'une manière abrégée d'exprimer un fait » (*ibid.*, p. xvij). Le mot « force » renvoie à une dénomination commode et est avant toute chose l'expression d'un fait ; cette dernière citation s'avère proche de ce qu'écrit Traubaud à propos de la force d'inertie n'exprimant pas une réalité interne à la matière mais résumant un effet. Mais ce doute porté à l'encontre de la causalité mécanique et les conséquences de ce doute peuvent ne pas être attribués au seul occasionalisme. En effet, la possibilité de réduire la force, en l'occurrence la réaction et la force d'inertie, à un simple nom, peut aussi être associée à la thèse malebranchiste de l'absence de force du corps au repos. Cette dernière conduit Crousaz et Molières, et on pourrait aussi ajouter Saulmon, à retenir l'expression « force d'inertie » non pour exprimer une réalité dynamique mais uniquement un effet.

La connaissance des thèses de Malebranche, de Crousaz et de Traubaud

Tout d'abord, D'Alembert connaît le livre de Traubaud qu'il cite dès la première édition de son *Traité de dynamique* ; il connaît aussi ce savant³.

D'Alembert n'ignore pas les critiques de Malebranche à l'encontre sur la force de repos de Descartes ainsi que leurs conséquences, à savoir le rejet du concept de force d'inertie et du concept de réaction. En effet, l'article « Mouvement » de l'*Encyclopédie*, portant pour signatures à la fois celle de Formey et celle de D'Alembert, cite l'« *essai* de M. de Crousaz sur le *mouvement*, qui fut couronné par l'académie des Sciences » en 1720, comme une références à consulter sur la science du mouvement⁴. Le prix remporté par Crousaz porte le

- 1 Voir sur ce point Firode, *La dynamique de D'Alembert*, p. 20-22. Un premier développement critique de la notion de force figure dans l'*Essai de Cosmologie* de 1751 ; il sera complété par la publication de l'*Examen philosophique de la preuve de l'existence de Dieu employée dans l'Essai de Cosmologie*, dans *Histoire de l'Académie Royale des Sciences et Belles Lettres*, Année 1756, Berlin, Haude et Spener, 1758 où Maupertuis dénonce (p. 406) les explications causales et en particulier le recours à l'axiome de proportionnalité : « après qu'on aura bien réfléchi sur le peu d'idée qu'on a de la *cause* & de l'*effet*, dans le mouvement des corps, on trouvera bien étrange de voir les plus grands hommes qui ont traité de la dynamique répéter sans cesse les mots de cause et d'effets ; vouloir expliquer les phénomènes du mouvements par ces prétendus axiomes, *les effets ne doivent pas surpasser les causes ; les effets doivent être proportionnels aux causes ; &c.* »
- 2 D'Alembert, *Traité de dynamique*, p. 16. L'équation peut se décliner sous les formes $\varphi dt^2 = \pm dde$, $\varphi dt = \pm du$ ou $\varphi de = \pm udu$ avec φ la « force accélératrice » – l'accélération – agissant pendant la durée dt , produisant un incrément de vitesse du à la vitesse instantanée u qui fait parcourir un espace dde .
- 3 En ce qui concerne « le détail des différentes Machines », D'Alembert renvoie le lecteur à « l'Ouvrage de M. Traubaud qui a paru l'année dernière, & qui a pour titre : *Principes sur le Mouvement & l'Equilibre* ; Ouvrage où cette matière est traitée avec exactitude & clarté ». *Ibid.*, p. 48. Concernant les rapports entre Traubaud et D'Alembert, voir D'Alembert, *Correspondance générale 1741-1752*, p. 10. Une lettre de Ludot à D'Alembert du 15 avril 1746 témoigne de contacts entre D'Alembert et Traubaud. Dans une lettre adressée à Ludot de 1744, Traubaud mentionne avoir rencontré D'Alembert. La deuxième édition de 1743 du livre de Traubaud reproduit l'intégralité de la démonstration du principe de composition des mouvements et de la loi du levier contenus dans « l'ingénieux & le sçavant ouvrage [...] intitulé *Traité de Dynamique* » de « M. Dalembert de l'Académie Royale des Sciences » ; il s'agit très probablement du premier traité de mécanique qui reconduit des démonstrations de D'Alembert. Voir Traubaud, *Principes sur le Mouvement et l'Equilibre*, (éd. de 1743), p. 272-277.
- 4 D'Alembert, « Mouvement », *Encyclopédie*, t. X, p. 840b. Concernant les signatures, la fin de l'article porte la mention (O) de D'Alembert, et le corps du texte deux mentions « M. Formey ». Plusieurs articles de l'*Encyclopédie* sont dits « tirés des papiers de M. Formey » (voir par exemple cette phrase dans « Athéisme », *Encyclopédie*, t. I, p. 817a). Un commentaire dans « Mouvement » souligne que les discussions sur la « nature » du mouvement sont « inutiles à la

titre de *Discours sur le principe, la nature, et la communication du mouvement* ; la citation précédente contenant « *essai* » et « *mouvement* » en italiques ferait donc plutôt référence au livre de 1726 de Crousaz, celui où se trouve inséré le prix en question. L'intérêt de cet ouvrage réside dans les nombreux ajouts qu'apporte Crousaz au texte de 1720, ajouts parmi lesquels figure un rejet explicite de la force d'inertie motivé par une adhésion à des thèses de Malebranche.

L'article « Mouvement » renvoie aussi aux « *Institutions physiques* de madame du Châtelet » ouvrage qui développe une critique de la métaphysique malebranchiste du mouvement et du rejet de la force des corps au repos¹. Ce même article contient la traduction quasi-intégrale du commentaire de Clarke dans ses annotations du *Traité de physique* de Rohault relatif à la critique du repos conçu comme une privation du mouvement. Contrairement au texte anglais, l'article ne contient ni la référence au passage concerné dans *De la recherche de la vérité*, ni la mention de Le Clerc :

on convient assez de la définition du repos, mais les Philosophes disputent entr'eux pour savoir si le repos est une pure privation de *mouvement*, ou quelque chose de positif. Malebranche & d'autres soutiennent le premier sentiment ; Descartes & ses partisans le dernier. Ceux-ci prétendent qu'un corps en repos n'a point de force pour y rester, & ne sauroit résister aux corps qui feroient effort pour l'en tirer, & que le *mouvement* peut être aussi-bien appelé une *cessation de repos*, que le repos une *cessation de mouvement*. Voyez REPOS. Voici le plus fort argument des premiers ; supposons un globe en repos, & que Dieu cesse de vouloir son repos, que s'ensuivra-t-il de là ? il restera toujours en repos ; mais supposons le corps en *mouvement*, & que Dieu cesse de le vouloir en *mouvement*, que s'ensuivra-t-il maintenant ? que le corps cessera d'être en *mouvement*, c'est-à-dire qu'il sera en repos, & cela parce que la force par laquelle un corps qui est en *mouvement*, persévère dans cet état, est la volonté positive de Dieu ; au lieu que celle par laquelle un corps qui est en repos y persévère, n'est autre chose que la volonté générale par laquelle il veut qu'un corps existe. Mais ce n'est là qu'une pétition de principe ; car la force ou le *conatus* par lequel les corps soit en repos, soit en *mouvement*, perséverent dans leurs états, ne vient que de l'inertie de la matiere ; de sorte que s'il étoit possible pour un moment à Dieu de ne rien vouloir sur l'état du corps, quoiqu'il en voulût toujours l'existence, un corps qui auroit été auparavant en *mouvement* y continueroit toujours, comme un corps en repos resteroit toujours en cet état. C'est cette inactivité ou inertie de la matiere qui fait que tous les corps résistent suivant leur quantité de matiere, & que tout corps qui en choque un autre avec une vitesse donnée, le forcera de se mouvoir avec d'autant plus de vitesse, que la densité & quantité de matiere du corps choquant sera plus grande par rapport à la densité & quantité de matiere de l'autre. Voyez FORCE D'INERTIE².

L'auteur précise ensuite « qu'il y a encore bien des choses à considérer dans le mouvement » notamment sur « la force motrice » qui imprime le mouvement et sur la « masse » du corps. Concernant cette « force », l'article estime que « l'idée de quelques philosophes qui prétendent que tout *mouvement* actuel que nous remarquons dans les corps, est produit immédiatement par le créateur, n'est pas philosophique ». En effet, « quoique nous ne puissions concevoir comment le *mouvement* passe d'un corps dans un autre, le fait n'en est

mécanique » qui suppose son existence, l'article invitait alors le lecteur à consulter l'entrée « Elémens des Sciences » signée par D'Alembert. De la même manière, l'entrée « Espace » fait la part belle aux différentes opinions sur la nature de cette notion : une phrase précise que « cet *article* est tiré des papiers de M. FORMEY », article qui se clôt par ce jugement que « nous ne prendrons point de parti sur la question de l'*espace* ; on peut voir, par tout ce qui a été dit au *mot* ÉLEMENS DES SCIENCES, combien cette question obscure est inutile à la Géométrie & à la Physique » ; la vedette « Espace » comprend deux entrées finales, « ESPACE, en *Géométrie* » et « ESPACE, en *Mécanique* » cette dernière étant suivie de la signature (O) de D'Alembert. Voir « Espace », *Encyclopédie*, t. V, p. 953a-956a. En somme, « Mouvement » est tout autant dû à Formey qu'à D'Alembert qui, en tant qu'éditeur de l'*Encyclopédie*, relie sans doute le texte original de Formey en y ajoutant une contribution personnelle.

1 D'Alembert, « Mouvement », *Encyclopédie*, t. X, p. 840b.

2 *Ibid.*, p. 832b-833a. La troisième phrase de la citation est ambiguë : Descartes ne soutient pas qu'un corps au repos ne possède pas de force pour y rester et qu'il ne résiste pas ; le texte anglais donne « *Cartes and some others contend, that which is at Rest, has some kind of Force, by which it continues at Rest, and whereby it resists everything that would change its state ; and that Motion may as well be called a Cessation of Rest, as Rest is a Cessation of Motion* », voir ce passage dans ce chapitre.

pas moins sensible & certain ». Ainsi, après avoir posé l'impression générale du premier moteur, on peut faire attention aux diverses causes que les êtres sensibles nous présentent pour expliquer les *mouvements* actuels ; tels sont la pesanteur, qui produit du *mouvement* tant dans les corps célestes que dans les corps terrestres ; la faculté de notre ame, par laquelle nous mettons en *mouvement* les membres de notre corps, & par leur moyen d'autres corps sur lesquels le nôtre agit »¹. Cette critique de l'occasionalisme est suivie d'un développement sur la « masse » des corps par laquelle « ils résistent à la force qui tend à leur imprimer ou à leur ôter le *mouvement* ». L'article insiste sur le fait que « les corps résistent également au *mouvement* & au repos » et ce par leur « force d'inertie ». Un corps ayant plus de masse qu'un autre est plus difficile à mettre en mouvement ; il est d'autant plus difficile à arrêter qu'il possède plus de masse. Ainsi, « il faut la même force pour arrêter le *mouvement* d'un corps qui se meut avec une vitesse quelconque, & pour communiquer à ce même corps le même degré de vitesse qu'on lui a fait perdre », et « cette résistance [...] est le fondement de cette loi générale du *mouvement*, par laquelle la réaction est toujours égale à l'action ». L'auteur souligne la nécessité d'une telle loi pour que les corps agissent les uns sur les autres : « sans cette espèce de lutte, il ne pourroit y avoir d'action ; car comment une force agiroit-elle sur ce qui ne lui oppose aucune résistance »². La mention du livre de Crousaz et le long extrait ci-dessus correspondant à une traduction de Clarke témoigne de la connaissance d'une question centrale de la mécanique de Malebranche, à savoir la critique de la force de repos cartésienne et ses conséquences au regard de la force d'inertie ; la critique de l'occasionalisme lors du passage sur la « force motrice » suivie immédiatement par cette insistance sur la nécessité de conceptualiser cette force peut aussi relever d'une critique directe à l'encontre de Malebranche³.

L'article « Repos » revient sur une question agitant les « Philosophes », à savoir « si le *repos* est quelque chose de positif ou une simple privation », et renvoie à la consultation de l'entrée « Mouvement ». Il évoque seulement que les « Cartésiens » voient dans le repos « le grand principe de cohésion par lequel toutes les parties [d'un corps] sont liées ensemble » et qu'« il n'y a point de degrés dans le *repos*, comme dans le mouvement ; car un corps peut se mouvoir plus ou moins vite : mais quand il est une fois en *repos*, il n'y est ni plus, ni moins », ce dernier élément se rencontrant chez Malebranche justement dans le contexte d'une critique de l'explication de la dureté chez Descartes⁴. Tout comme « Mouvement », « Repos » renvoie aussi aux « *Institut. de Physique* de madame du Châtelet »⁵, et plus particulièrement aux « §. §. 220. 229. » où figure notamment la thèse qu'un corps en mouvement et au repos résiste également à tout changement par son inertie⁶.

Dans son *Traité de dynamique*, D'Alembert critique la démonstration du principe d'inertie basée sur la notion d'indifférence de la matière au mouvement et au repos : elle signifie finalement, à ses yeux, « qu'il n'est pas essentiel à la matière de se mouvoir toujours, ni d'être toujours en repos », mais n'implique pas qu'un mobile ne puisse pas tendre au repos.

1 *Ibid.*, p. 833a-833b.

2 *Ibid.*, p. 833b-834a.

3 L'insistance sur la loi d'égalité entre l'action et la réaction se retrouve chez la marquise du Châtelet, évoquant la nécessité d'une telle loi pour que les corps puissent agir mutuellement. La traction d'un corps par une corde suppose une tension égale des deux côtés de son extrémité ceci marquant l'égalité entre l'action et la réaction ; l'absence de tension rend la traction impossible. La marquise Du Châtelet répond aussi à l'objection pouvant être faite que si le corps est tiré avec une force égale à celle qui résiste, comment devrait-il avancer ? La réponse repose sur le fait que seule une partie de la « force » motrice est employée à surmonter l'obstacle, Du Châtelet, *Institutions physiques*, p. 244-246. « Mouvement », *Encyclopédie*, t. X, p. 833b-834a reproduit ce raisonnement ; l'article renvoie aux « *chapitres xj. & xij. des Institutions physiques* de madame du Châtelet, dont nous avons extrait une partie de cet article » (*ibid.*, p. 840a), ce « chapitre xj » contient justement ces analyses de Du Châtelet.

4 « Repos », *Encyclopédie*, t. XIV, p. 139a.

5 *Ibid.*, p. 139b.

6 Du Châtelet, *Institutions de physique*, Paris, Prault, 1740, p. 219-222. Il s'agit de la première édition du livre publié sous le titre *Institutions physiques* en 1742.

D'Alembert ne soutient pas une telle thèse, mais avance qu'« il pourroit sembler qu'il ne faut autre chose à un Corps pour être en repos, que d'être un Corps, & que pour le Mouvement, il auroit besoin de quelque chose de plus, qui devoit être, pour ainsi dire, continuellement créé en lui »¹ comme « nous l'éprouvons dans le mouvement de notre corps, qui pour se mouvoir à besoin d'un effort continu, lequel se consume & renaît à chaque instant »².

A l'entrée « Force d'inertie », D'Alembert commente alors cette croyance portant à supposer « dans un corps en mouvement un effort ou énergie, qui n'est point dans un corps au repos », qui vient de ce que « nous sommes toujours portés à transférer aux corps inanimés les choses que nous observons dans notre propre corps » ; lorsque notre corps se meut ou frappe un obstacle ces événements s'accompagnent « d'une sensation qui nous donne l'idée d'une *force* plus ou moins grande ». Mais ce mot « force » appliqué aux corps doit renvoyer à trois sens : « 1°. celui de la sensation que nous éprouvons, & que nous ne pouvons pas supposer dans une matière inanimée : 2°. celui d'un être métaphysique, différent de la sensation, mais qu'il nous est impossible de concevoir, & par conséquent de définir : 3°. enfin (& c'est le seul sens raisonnable) celui de l'effet même, ou de la propriété qui se manifeste par cet effet, sans examiner ni rechercher la cause ». D'Alembert prône de n'entendre par le mot « force » rien d'autre que ce dernier sens et, alors, « nous ne voyons rien de plus dans le mouvement, que dans le repos, & nous pouvons regarder la continuation du mouvement, comme une loi aussi essentielle que celle de la continuation du repos ». D'Alembert poursuit : « mais, dira-t-on, un corps au repos ne mettra jamais un corps en mouvement ; au lieu qu'un corps en mouvement meut un corps au repos. Je réponds que si un corps en mouvement meut un corps en repos, c'est en perdant lui-même une partie de son mouvement ; & cette perte vient de la résistance que fait le corps au repos au changement d'état. Un corps en repos n'a donc pas moins de *force* réelle pour conserver son état, qu'un corps en mouvement, quelque idée qu'on attache au mot *force* »³. L'article se termine par un renvoi à « COMMUNICATION *de mouvement* », entrée qui, comme soulignée, discute la thèse de Malebranche qui affirme, selon D'Alembert, que le choc ne dépend pas des propriétés physiques des corps mais de la volonté et de l'action immédiate de Dieu.

Cette affirmation que la force pour le repos soit aussi « réelle » que celle associée au mouvement est justement remise en cause par les thèses de Malebranche. On peut rapprocher la dernière citation de D'Alembert des critiques de Leibniz à l'encontre de l'absence d'inertie chez ce philosophe : « le repos n'a point de force pour résister au mouvement. Je l'avoue, mais la matière a une inertie naturelle car elle ne peut être mise en mouvement, sans qu'il en coûte au moteur quelque chose de sa force »⁴. Un renvoi de l'article « Force d'inertie » invite à consulter l'entrée « Mouvement », celui-là même où Formey et D'Alembert mentionnent et critiquent la thèse malebranchiste du repos conçu comme une « privation » de mouvement, thèse accordant un surcroît d'être à ce dernier et conduisant à un rejet de la force d'inertie, et article qui contient la citation tirée des annotations de Clarke, et où l'ouvrage de 1726 de Crousaz et celui de Du Châtelet sont cités. Il est notable que Crousaz dénonce, à l'instar de D'Alembert, une argumentation anthropomorphique comme relevant « des illusions, & des restes d'Enfance » laquelle à partir du sentiment de pénibilité à mouvoir les corps viendrait leur accorder une résistance à être mus : pour Crousaz, cette sensation provient de la nécessité de produire du mouvement, autrement dit « un état très actif », et l'auteur poursuit en rejetant

1 D'Alembert, *Traité de dynamique*, p. 6-8. Raisonement identique dans D'Alembert, « Force d'inertie », *Encyclopédie*, t. VII, p. 111a. On trouve une justification de l'état inertiel de la matière basée sur la notion d'indifférence par exemple chez Varignon, *Traité du mouvement et de la mesure des eaux coulantes et jaillissantes. Avec un discours préliminaire du mouvement en général*, Paris, Pissot, 1725, p. 3 et chez Trabaud, *Principes sur le mouvement*, p. 38.

2 D'Alembert, *Traité de dynamique* (1758 seulement), p. 8.

3 D'Alembert, « Force d'inertie », *Encyclopédie*, t. VII, p. 111b.

4 Voir Partie I, Chapitre II.

l'idée d'une « réaction » du corps immobile¹. D'Alembert, pour sa part, insiste sur le fait qu'il ne faut pas accorder plus de réalité au mouvement qu'au repos et, surtout, qu'au-delà de l'« idée qu'on attache au mot *force* » il convient de prendre en compte la perte de mouvement d'un mobile contre un corps au repos comme manifestation d'un « effet » attribuée à une « résistance », non en tant qu'entité qui renverrait à une « puissance » propre à la matière – ce que critique aussi Crousaz – mais à une de ses « propriétés »². En somme, si la dénonciation de D'Alembert, à l'instar de celle de Descartes spécifiant qu'il faut autant d'effort pour mettre un corps en mouvement et au repos, peut porter contre des thèses d'inspiration scolastiques³, les positions de Crousaz manifestement connues de D'Alembert, à savoir sa lecture critique de la « réaction » et de la « force d'inertie » à travers le prisme de thèses malebranchistes, rend plus contemporaine cette question d'une dissymétrie entre repos et mouvement.

CONCLUSION

En 1785, dans un manuel de mécanique, l'abbé Jantet définit l'inertie comme « une propriété commune à tous les corps qui sont choqués, non seulement de passer à un nouvel état, mais aussi de produire ou d'occasionner un changement dans l'état des corps qui les choquent »⁴. Il ajoute que « les Physiciens se sont partagés sur la nature de cette propriété ». Les uns la considère comme « une force répandue dans toute la matière, & l'ont appelée *force d'inertie* ». Pour d'autres, « les corps choqués, en repos, ou mus suivant la direction des corps choquants, n'opposent à ceux-ci ni forces, ni résistances, mais [...] les choquants perdoient une partie de leur mouvement, parce qu'ils agissent, & qu'il résulte du choc un effet ou changement, soit de leur état, soit dans celui du corps choqués ». Enfin, certains soutiennent que « les corps, dans le choc, n'agissent point l'un sur l'autre, & que toute l'action procède uniquement du Créateur ». Jantet souligne aussi que « les différents auteurs [...] n'attachent pas les mêmes idées à ces mots, *force*, *action*, *résistance* » : il s'agit soit de « la cause étrangère qui donne aux corps leur mouvement » soit d'« un effet produit dans les corps par cette cause étrangère ». Ainsi, on nomme « *force motrice* » le produit de la masse par la vitesse « quelle que soit la cause qui donne cette vitesse » et « *action* » le mouvement produit dans le corps percuté « quelle que soit la cause physique de ce mouvement ». Jantet s'interroge alors : « pourquoi ne pourroit-on pas de même donner le nom de *force* à l'inertie des corps, en la considérant comme un effet qui occasionne un changement dans les corps choquants, quelle que soit la cause physique de ce changement ? »⁵

Les réflexions de Jantet résument, à plus d'un titre, celles de protagonistes de la mécanique du premier XVIII^e siècle rencontrés dans les deux derniers chapitres de cette partie. Tout d'abord, ce vocabulaire soulignant que les corps produisent ou occasionnent des changements de mouvement place ces réflexions sur le choc, et donc sur l'inertie, dans le contexte de l'occasionalisme. Par ailleurs, Jantet ne s'attache pas à l'origine de la cause – « quelle que soit la cause physique » –, le mot « force » renseignant alors un effet. Puis, les « Physiciens » qui considèrent qu'un corps au repos et qu'un mobile rattrapé par un autre ne développent pas de résistances correspondent à ceux qui pensent le mouvement et l'opposition de mouvements entre eux comme, respectivement, les seuls sources d'action et de résistance. La perte de mouvement d'un mobile résulte de son action et non d'une réaction qu'il subirait, thèses

1 Crousaz, *Essay sur le mouvement*, p. 151. Voir plus haut dans ce chapitre.

2 D'Alembert, « Force d'inertie », *Encyclopédie*, t. VII, p. 110b : « dans la définition de la *force d'inertie*, je me suis servi du mot de *propriété*, plutôt que de celui de *puissance* ; parce que le second de ces mots semble désigner un être métaphysique & vague, qui réside dans le corps, & dont on n'a point d'idée nette ; au lieu que le premier ne désigne qu'un effet constamment observé dans les corps ».

3 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 26, p. 77. Voir Partie I, Chapitre I.

4 Jantet, *Leçons élémentaires de Mécanique*, Dôle, Joly et Bardou, 1785, p. 331.

5 *Ibid.*, p. 332-333.

rencontrées chez Malebranche, mais aussi chez Crousaz, Saulmon, Molières, Varignon etc. ; pour sa part, Trabaud exemplifie aussi cette idée que l'action procède uniquement de Dieu, tout en reconnaissant la nécessité de l'inertie. Enfin, pour composer son manuel, Jantet écrit s'appuyer notamment sur « les différents Traités de M. d'Alembert » : les précisions terminologiques apportées par Jantet et rapportées ci-dessus, et la considération des seuls effets ne sont pas sans évoquer des propos du *Traité de dynamique*¹.

La mécanique de Malebranche pose une interrogation sur la force du corps au repos qui ne dépend pas nécessairement de l'occasionalisme. Le « je ne sais quoi », suivant la formule de l'oratorien, introduit par Descartes dans son explication de la dureté apparaît un principe sans fondement et une entité superflue. Seul le mouvement agit et, manifestement, la perte de mouvement lors du choc contre un corps immobile paraît s'entendre par la nécessité de proportionner l'effet à sa cause, la quantification de l'échange de mouvement reposant sur un principe de conservation de la quantité du mouvement. Cette absence d'équivalence ontologique entre repos et mouvement, le fait que la matière ne renferme aucune idée de force, conduit certains à critiquer les concepts de force d'inertie, qu'ils soient d'origine newtonienne et leibnizienne, à refuser à cette force à la fois un fondement au niveau métaphysique et à la fois d'en faire au niveau phénoménal l'objet d'une conceptualisation. La « force d'inertie » et la « réaction » sont des dénominations commodes ne renvoyant qu'à des effets sans réalité au regard des causes secondes ou de l'action immédiate de Dieu, et l'interprétation de phénomènes physiques peut en faire l'économie.

Trabaud adopte en partie une telle conclusion mais pour d'autres raisons. L'impensable qu'est la nature de la matière conduit à refuser l'inertie comme force intrinsèque, sans pour autant que l'auteur reconduise cette dissymétrie entre mouvement et repos ; la « force d'inertie » est un nom résumant un effet constaté. Sa profession de foi occasionaliste suggère que l'efficace demeure inaccessible d'où cet appel à ne prendre en compte que des effets et leurs rapports. Que Trabaud revendique une adhésion à l'occasionalisme et apporte ainsi d'une certaine manière une solution théologique au problème de la causalité, ou qu'il mette côte à côte les arguments opposés des partisans des causes premières ou des causes secondes en feignant de ne pas « décider », son livre témoigne du paysage intellectuel relatif à la causalité dans les années 1730-1740. Ce contexte entraîne une réflexion critique à l'encontre de l'axiome de proportionnalité de l'effet à sa cause qui figure aussi chez D'Alembert et Maupertuis.

La réception de Malebranche se fait ainsi selon différentes modalités. Tout d'abord, plusieurs témoignages invitent à voir le rejet de la force de la matière au repos comme un élément bien connu notamment dans le contexte académique, qu'il concerne des traités ou mémoires dévolus à la nature du mouvement ou au choc (Lamy, Parent, Crousaz, Lozeran du Fesc, Mazière) ou à la question de la dureté des corps (Saulmon, Varignon, Molières, Lozeran). Puis, l'argumentation malebranchiste semble un support pour critiquer les concepts dynamiques d'inertie (Crousaz, Saulmon, Privat de Molières). En réponse, les écrits de Clarke, Leibniz, Sigorgne, et de la marquise Du Châtelet dénoncent l'absence d'inertie chez Malebranche. Par ailleurs, la remise en cause de l'axiome de proportionnalité, la prise en compte des seuls effets, la force comme un nom, sont autant d'éléments que D'Alembert fait siens lorsqu'il élabore sa dynamique ; Trabaud invite à voir ces différents points comme autant de conséquences issues de l'interrogation que pose l'occasionalisme sur la causalité. Ainsi, l'argument mettant dos-à-dos les tenants de l'impulsion et de la gravitation du fait de l'inconcevabilité de la cause dans les écrits de Maupertuis et D'Alembert n'est pas l'unique trace de la présence d'un « occasionalisme physique ». Au demeurant, cette doctrine apparaît bien diffusée dans des écrits de nature scientifique (Parent, Lamy, Lozeran, Crousaz). Mais ce

1 *Ibid.*, p. iv.

courant philosophique n'épuise pas à lui seul l'héritage des réflexions de Malebranche : l'occasionalisme mais aussi ses positions sur la force de repos à l'origine de la mise cause de la force d'inertie et de la réaction conduisent à des conséquences communes au regard d'une conception nomologique de la causalité.

Il existerait alors, tout à la fois, un « occasionalisme physique » marqué par cette conception nomologique, mais aussi un « malebranchisme physique » porteur d'une réflexion originale sur l'inertie de la matière à partir d'une analyse de la science de Descartes. Une réflexion sur la « force des corps au repos » cartésienne qui a aussi des conséquences sur la philosophie mécanique de Malebranche et sur celle de ses successeurs, philosophie faisant l'objet de la partie qui suit.

DEUXIEME PARTIE

LA THEORIE DES PETITS TOURBILLONS

**L'ECLAIRCISSEMENT XVI DE MALEBRANCHE :
TESTAMENT ET PROGRAMME SCIENTIFIQUES**

Au reste je croi devoir avertir que ce qui gête le plus la Physique de M. Descartes est ce faux principe que le repos a de la force ; Car de là il a tiré des regles du mouvement qui sont fausses : de là il a conclu que les boules de son second élément étoient dures par elles-mêmes ; d'où il a tiré de fausses raisons de la transmission de la lumiere & de la variété des couleurs, de la génération du feu, & donné des raisons fort imparfaites de la pesanteur. En un mot ce faux principe que le repos a de la force influë presque partout dans son système qui marque d'ailleurs un génie supérieur aux Philosophes qui l'ont precedé : j'espere que l'on conviendra de tout ceci, quand on aura lû & bien conçu tout entier le seizième éclaircissement, j'avouë cependant que je dois à M. Descartes ou à sa maniere de philosopher les sentimens que j'oppose aux siens, & la hardiesse de le reprendre¹.

INTRODUCTION

Cette citation conclut le chapitre de *De la recherche de la vérité* où Malebranche livre son explication de la dureté des corps qu'il substitue à celle de Descartes. Plus qu'une correction entendant pallier le défaut d'une explication, l'enjeu de la révision entreprise par Malebranche consiste en l'énoncé de nouvelles lois de la nature². Cette citation n'apparaît que dans la sixième et dernière édition de 1712 de son livre et cette opinion peut être vue comme l'aboutissement d'années de méditations sur le système de Descartes : Malebranche identifie explicitement la force de la matière au repos comme la source des maux de la physique de Descartes, son éviction constituant un point de départ – et la condition *sine qua non* – à l'élaboration de son propre système. Mais si la critique du « faux principe » se rencontre avant 1712 – Malebranche la développe dès la première édition de son livre –, seul l'*Eclaircissement XVI* de *De la recherche* paraît en tirer toutes les conséquences en proposant justement de nouvelles théories touchant à la lumière, au feu, à la pesanteur.

Suite au rejet du « faux principe » la première réforme entreprise par Malebranche porte sur les lois du choc³. Ce rejet et celui des règles de Descartes que ce « principe » contribue à formuler requiert une refonte générale de la théorie des trois éléments de Descartes. En effet, ces règles s'avèrent cohérentes avec le système du monde élaboré par Descartes et les réfuter implique conséquemment de repenser les interactions des éléments entre eux. Par ailleurs, les « globules durs » du second élément de Descartes ne sauraient exister en tant que tels, la dureté relevant de la compression d'un fluide. Mais cet abandon du « faux principe » entrepris dès la première édition de *De la recherche* n'est pas concomitant à l'élaboration d'une nouvelle conception de la matière subtile et à la genèse d'un nouveau système, ceci témoignant alors que la dénonciation du « faux principe », si essentielle soit-elle, ne constitue qu'un des éléments du cheminement conduisant à une réforme plus globale. Aussi, au-delà de la recherche d'une raison déterminante, si elle existe, justifiant l'élaboration des petits tourbillons, ceux-ci cristallisent un ensemble de réflexions. Tout d'abord, celles liées à la

1 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 449.

2 Voir Partie I, Chapitre II.

3 Voir Partie I, Chapitre II.

force de repos avec pour pendant que seul le mouvement donne son origine aux phénomènes, les petits tourbillons se caractérisant par leur mobilité incessante qui constitue le réservoir de forces de ce monde. Puis, ces tourbillons apparaissent pour la première fois en 1699 dans un mémoire relatif à la nature de la lumière, à sa propagation, à la nature du feu, les réflexions dans ces domaines pouvant alors contribuer à leur émergence : des réflexions portant sur des révisions de l'optique cartésienne sur lesquelles nous revenons ci-dessous, ou s'exerçant à partir de travaux contemporains développant un certain nombre de propositions dont les tourbillons peuvent rendre raison¹. En somme, ces différents aspects rendent possibles la naissance d'un nouveau système qui, bien qu'il « dépende » de celui de Descartes, vise avant tout à le « réformer & perfectionner »².

Ce chapitre ne développe pas une étude génétique de l'œuvre conduisant à la formulation des petits tourbillons, pas plus qu'il ne s'agit de mettre en perspectives l'*Eclaircissement XVI* avec des travaux contemporains, notamment ceux de Newton dans le domaine de l'optique³. La lecture ici proposée de l'œuvre scientifique de Malebranche vise à en souligner le caractère programmatique : il s'agit avant tout d'évaluer ce que Malebranche lègue et d'inscrire alors des travaux postérieurs examinés dans les chapitres suivants dans cet héritage.

De la première à l'ultime édition de *De la recherche de la vérité* s'écoulent presque quarante ans, et l'examen des différentes éditions montre « une œuvre en bouillonnement perpétuel »⁴. L'*Eclaircissement XVI* de 1712 constitue le point culminant de la réforme du système de Descartes et la dernière mouture de l'œuvre scientifique. Mais Malebranche n'y explique qu'un nombre limité de phénomènes physico-chimiques alors même qu'un système à vocation à tous les englober. Ainsi, il ne livre pas de récit cosmogonique à l'instar de ce qui se rencontre dans les *Principes de la philosophie* de Descartes. Par ailleurs, l'« abrégé » du système de Descartes publié dès 1675 et repris dans les éditions successives de *De la recherche* ne reçoit en 1712 que des modifications ponctuelles et la plupart du temps sous la forme de notes renvoyant le lecteur à la consultation de l'*Eclaircissement XVI*⁵. De la même manière, de 1675 à 1712, Malebranche expose les mécanismes d'attraction et répulsion magnétiques de Descartes. L'*Eclaircissement XVI* n'aborde pas autrement la chimie qu'à travers une théorie du feu et une évocation de réactions entre acides et alkalis ; la recherche à travers les strates de l'œuvre de la forme des corps élémentaires et des mécanismes de leur interaction n'apporte finalement que peu d'informations. En somme, le lecteur dispose d'un

1 Ainsi Pardies et Ango développent des analogies entre propagations du son et de la lumière, exposent le caractère ondulatoire de la lumière, notent que la lumière suit une droite à cause de pressions égales de part et d'autres du rayon, considèrent la fréquence comme un paramètre de la couleur ; outre cette nature ondulatoire, Huygens compose l'éther de corps « durs » c'est-à-dire élastiques. Selon Malebranche de telles propriétés s'interprètent à l'aide de petits tourbillons équilibrés. Sur ces trois savants et Malebranche, voir notamment, Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, « *Commentaire scientifique* », p. 383-418 ; Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 275-276 ; Robinet, « Huygens et Malebranche » ; Darrigol, *A History of Optics*, p. 60-64 pour Pardies et Ango, p. 66-67 pour Huygens, et voir note 79 p. 141.

2 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 305 et p. 266.

3 Sur ce point, l'édition critique des *Œuvres complètes* et les études de Robinet fournissent de nombreux matériaux. Ainsi, par exemple, pour l'apport du *Traité d'optique* de Newton (son édition latine de 1706) à la rédaction de l'*Eclaircissement XVI* de 1712 lequel se réfère à de nombreuses reprises aux résultats expérimentaux de Newton, voir Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, « *Notes des éditeurs* », p. 375, p. 380-381 ; Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, « *Commentaire scientifique* », p. 389, p. 411-417. Malebranche écrit que « quoique que Mr. Newton ne soit point physicien, son livre [*le Traité d'optique*] est tres curieux et tres utile à ceux qui ont de bons principes de physique, il est d'ailleurs excellent geometre. Tout ce que je pense des proprieté de la lumiere s'ajuste à toutes ses experiences », Malebranche, Lettre à Berrand, 1707, *Correspondance et actes 1690-1715*, OCM XIX, p. 771-772 ; pour le détail de l'articulation entre ce que Malebranche « pense des proprieté » de la lumière et des « experiences » de Newton, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 291-323. Concernant l'importance de l'optique newtonienne sur Malebranche, voir aussi Guerlac, « Newton in France, the Delayed Acceptance of His Theory of Color », dans *Newton on Continent*, p. 107-111.

4 Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 9.

5 Pour cet « abrégé », voir Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 321-345. Il figure dans le tome II de *De la recherche* publié en 1675.

ensemble de pièces d'un puzzle en nombre insuffisant pour reconstituer le tout. Des lacunes résultant notamment du « bouillonnement perpétuel » évoqué plus haut, la réforme finale aurait nécessité une révision et une refonte de chapitres ; mais la réforme aurait aussi impliqué des investigations dans d'autres champs du savoir insuffisamment explorés voire ignorés afin d'acquiescer un ensemble global et cohérent.

Lire l'œuvre dans cette dimension programmatique nécessite de circonscrire les domaines de la science abordés par Malebranche et de faire la part entre les phénomènes interprétés à l'aide des petits tourbillons et ceux portant davantage les traces de la théorie de Descartes. Il s'agit aussi de dégager les lignes de force d'une pratique en relevant les principes essentiels et la manière dont Malebranche les mobilise dans le détail d'un mécanisme. Ces différents points permettent à la fois de caractériser la pratique scientifique du philosophe et de dresser une cartographie du savoir malebranchien pour mieux s'attacher ensuite à des questions liées au devenir de la physique du savant. La première partie de ce chapitre examine la lecture malebranchienne de Descartes afin de montrer le rôle fondamental du rejet de la force du corps au repos dans la révision du système de ce dernier, afin aussi de souligner la forme parcellaire de la révision entreprise. Ensuite, il s'agit de présenter ce nouveau système, d'en donner les justifications, les lois qui le régissent et les propriétés de la matière subtile. La dernière section porte sur les mécanismes des phénomènes physico-mathématiques.

LECTURES MALEBRANCHIENNES DU SYSTEME DE DESCARTES

L'*Eclaircissement XVI* de *De la recherche de la vérité* s'attache à la nature de la matière subtile, à ses propriétés et à la manière dont elle intervient dans le mécanisme de quelques phénomènes naturels, essentiellement liés à l'optique, à la pesanteur et à la mécanique céleste. Malebranche donne ici à voir comment se présente le monde plutôt qu'il n'en explique la genèse. Faire la lumière sur ce dernier point requiert l'examen de la lecture que le philosophe propose du système cartésien consigné dans les troisième et quatrième parties des *Principes de la philosophie*. Cette lecture figure dans le Livre VI de *De la recherche*, intitulé « *De la méthode* », dans lequel Malebranche entend « montrer les chemins qui conduisent à la connaissance de la vérité, & [...] donner à l'esprit toute la force & toute l'adresse que l'on pourra, pour marcher dans ces chemins sans se fatiguer inutilement & sans s'égarer ». Il s'agit notamment de prescrire « les règles qu'il faut observer dans la recherche de la vérité pour ne se tromper jamais, & pour apprendre avec le tems tout ce que l'on peut sçavoir »¹. Après l'énoncé de telles « règles », Malebranche donne un « abrégé de la physique de M. Descartes » illustrant la manière adéquate pour philosopher. Ce résumé met l'accent sur la « simplicité des voies », maxime d'où ce déduit à la fois l'ordre de la formation du monde et la primauté du mouvement rectiligne uniforme en tant que principe mécanique. Il apporte aussi un changement par rapport aux *Principes* relatif à la nature de la matière originelle et à la force au repos. Par ailleurs, des notes et des passages suggèrent des modifications à apporter au récit de Descartes en invitant notamment à consulter l'*Eclaircissement XVI*, ces renvois concernent les éléments de Descartes, l'équilibre du monde, le mécanisme de la pesanteur et l'explication des couleurs. Selon Malebranche, les « erreurs » de Descartes ne relèvent ni de sa méthode ici prise pour modèle, ni de ses principes – en l'occurrence ces trois entités, la matière-étendue des corps, leurs « figures » et leurs mouvements à la base des explications des phénomènes –, mais davantage de la difficulté de combiner de tels principes

1 Malebranche, RDV, VI, I, I, p. 244-245. Il s'agit aussi de fournir à l'esprit « les secours nécessaires pour devenir plus attentif & plus étendu ». Malebranche évoque l'usage des « passions » et des « sens », celui de « l'imagination », « l'utilité de la Géométrie » pour conserver l'esprit attentif, l'arithmétique et l'algèbre contribuant à « augmenter l'étendue & la capacité de l'esprit ». Voir Malebranche RDV, VI, I, III à V, p. 254-294.

dans des sujets composés¹. Ce résumé alterne alors entre corrections du texte d'origine et adhésion. Les passages non corrigés suggéreraient une forme de consentement aux *Principes*, en particulier la physique de type corpusculaire qui y est présentée correspondrait à la manière dont Malebranche envisage les parties élémentaires des corps terrestres. Sans être affirmatif sur ce point, au moins faut-il constater que Malebranche ne concilie pas cette vision corpusculaire avec ses petits tourbillons et que pas plus *De la recherche* que le reste du *corpus* ne permet d'avoir des certitudes sur ces points : Malebranche n'explicite pas comment les corpuscules se créent à partir d'une matière originelle « molle » et des petits tourbillons. La réforme malebranchienne consécutive au rejet de la force du corps au repos et à l'introduction des petits tourbillons implique de repenser la matière terrestre et sa formation mais la reformulation de la théorie de la matière dans l'œuvre demeure incomplète². Cette lecture de Malebranche montre alors les principes essentiels aux yeux du philosophe et leurs fondements ontologiques, elle témoigne de ce qui paraît crucial pour Malebranche dans sa réforme de Descartes, et elle rend aussi manifeste l'absence d'articulation entre cette révision et la cosmogonie cartésienne en vue de constituer ce qui devrait être la cosmogonie malebranchienne³.

LA METHODE ET LE SYSTEME DE DESCARTES

Malebranche illustre l'usage de la seconde partie de la « règle générale » que Descartes « a tâché [d'] observer » en donnant un « abrégé » des Parties III et IV des *Principes de la philosophie*⁴. Aux principes « obscurs » et « incompréhensibles » de l'Ecole s'opposent ceux « clairs » et « simples », et conséquemment « féconds » de Descartes dont la physique s'appuie sur la considération attentive des idées « d'étenduë, de figure, & de mouvement local, & les rapports que ces choses ont entr'elles »⁵. La question de la recherche de l'essence de la matière suppose la prise en compte de toutes ses propriétés « comme la dureté, la mollesse, la fluidité, le mouvement, le repos, la figure, la divisibilité, l'impénétrabilité, & l'étenduë », et chercher lequel de ces attributs en est inséparable. Les cinq premiers peuvent se « séparer de la matière ». Parmi les restants, il faut examiner celui « qui n'en suppose point d'autre » ; « on reconnoît facilement, que la figure, la divisibilité, & l'impénétrabilité, supposent l'étenduë, & que l'étenduë ne suppose rien ; mais dès qu'elle est donnée, la divisibilité, l'impénétrabilité, & la figure sont données. Ainsi on doit conclure que l'étenduë est l'essence de la matière, supposé qu'elle n'ait que les attributs dont nous venons de parler, ou d'autres semblables ; & je ne croi pas qu'il y ait personne au monde qui en puisse douter, après y avoir sérieusement pensé »⁶. Ceci semble alors définir une hiérarchie entre propriétés plus essentielles que d'autres ; ainsi de la divisibilité, de l'impénétrabilité, de la figure par

1 Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 340.

2 Cet effort de reformulation à l'aide des petits tourbillons à partir des années 1720 est évoqué dans Partie II, Chapitre III.

3 Nous ne développons pas ici une comparaison entre le résumé que fait Malebranche des *Principes* et le contenu de l'ouvrage de Descartes, comparaison figurant en partie dans les « *Notes de l'éditeur* », RDV, VI, II, IV, p. 550-553. Un examen de l'« abrégé » figure dans Robinet, *Malebranche de l'Académie des Sciences*, p. 198-212. L'auteur examine à l'aune de cette lecture malebranchienne de Descartes le passage d'une science spéculative héritée de Descartes à une autre s'attachant à l'expérience et à la géométrisation. Nous insistons sur le rôle et les conséquences du rejet de la force du corps au repos dans la révision du système de Descartes, en particulier sur cette idée d'une matière « molle » originelle, sur le caractère lacunaire de cette révision au regard l'absence d'une théorie sur la formation des corps à l'aide des petits tourbillons, et sur les lois de la nature et leur fondement dans l'élaboration du système.

4 Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 321. La seconde partie de cette « règle générale » stipule qu'il faut raisonner en commençant par « *les choses les plus simples & les plus faciles, & nous y arrêter fort longtemps avant que d'entreprendre la recherche des plus composées & des plus difficiles* », Malebranche, RDV, VI, II, I, p. 296. Pour cette règle et l'insertion de cet « abrégé » dans la série d'exemples illustrant la méthode, voir aussi Partie I, Chapitre II.

5 Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 324-325.

6 Malebranche, RDV, III, II, VIII, p. 460.

rapport au mouvement. Pour autant ce dernier s'avère « inséparable » de la matière et sans lui « cette variété de formes » qu'elle prend dans le monde n'existerait pas¹.

S'attacher alors par ordre aux propriétés de l'étendue, autrement dit s'attacher à la physique qui découle de l'étendue et de ses attributs, requiert « de commencer par leurs rapports les plus simples, & passer des plus simples aux plus composez » : d'une part, parce que « cette maniere est naturelle » et « aide l'esprit » et, d'autre part, « parce que Dieu agissant toujours avec ordre, & par les voies les plus simples, cette maniere d'examiner nos idées & leurs rapports nous fera mieux connoître ses ouvrages »². De la « première considération des rapports les plus simples de nos idées » résulte « la nécessité des tourbillons de M. Descartes », le plein (la matière étendue), le mouvement, la divisibilité, l'impénétrabilité jouant alors les premiers rôles dans leur formation. En effet,

si l'on considère donc avec attention l'étenduë, & sans aucun prévention, on verra d'abord qu'elle est impénétrable ; car il y a contradiction que deux pieds d'étenduë n'en fassent qu'un. Mais comme on ne voit aucune force dans l'idée qui la représente, il est certain qu'elle n'est point dure par elle-même, & qu'ainsi chaque partie doit se separer de sa voisine, si elles sont poussées de divers côtez. Ainsi, on conçoit que le mouvement est possible, quoique tout soit plein, & que les corps soient impénétrables : parce que l'étenduë n'étant point dure par elles-même, lorsqu'une partie avancera, les autres, puisque tout est plein, seront repoussées vers l'endroit qu'elle quitte en avançant, & ainsi elles y glisseront, & ainsi il se fera un mouvement circulaire. Que si l'on conçoit une infinité de mouvemens en ligne droite dans une infinité de semblables parties de cette étenduë immense que nous considérons, il est encore nécessaire que tous ces corps s'empêchant les uns les autres conspirent tous par leur mutuelle communication de tous leurs mouvemens particuliers, à se mouvoir par un mouvement circulaire³.

Le nombre de tourbillons ainsi formés est d'autant plus grand que « les mouvemens en ligne droite de toutes les parties de l'étenduë, ayant été plus contraires les uns aux autres, ils auront eu plus de difficulté à s'accommoder d'un même mouvement » ; les plus grands tourbillons seront ceux « où il y aura plus de parties qui auront conspiré au même mouvement, ou dont les parties auront eu plus de force pour continuer leur mouvement en ligne droite »⁴. Ainsi, le plein et l'impénétrabilité ne rendent pas impossible le mouvement, et Malebranche mentionne ici ce qui fait figure de *condition*, à savoir une absence de force qui conduit à celle d'une dureté en soi. Cette force ne figure pas dans « l'idée qui [...] représente » la matière et cette absence rend possible que des « parties » poussées se séparent d'autres contiguës. Puisque tout est plein, s'ensuit une circulation de matière et la naissance de tourbillons. Chez Descartes, le plein et l'impénétrabilité des corps, conséquences du fait que la matière est l'étendue même, assurent la formation de tourbillons ; Malebranche ajoute ici cette facile séparation des parties conséquence de son rejet de la force de repos cartésienne⁵. Ce propos de 1712 ne rend que plus manifeste l'importance de la réforme entreprise par Malebranche, les éditions antérieures n'évoquant ni la « force » ni l'absence de dureté⁶.

1 Malebranche, RDV, III, I, I, p. 382-383.

2 Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 325.

3 Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 325-326.

4 *Ibid.*, p. 326.

5 Pour le « cercle » ou « l'anneau » de matière générée autour d'un corps par son mouvement dans le plein, voir Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 33, p. 81-82. Descartes donne cet article comme résultant des articles 18 portant sur l'absence de vide et 19 touchant au refus d'une raréfaction et condensation d'un corps (qui n'occupe pas un espace plus ou moins grand). Concernant l'impénétrabilité chez Descartes et son rapport à l'étendue, voir notamment Jean-Pascal Anfray, « *Partes extra partes*. Étendue et impénétrabilité dans la correspondance entre Descartes et More », *Les Etudes philosophiques*, n° 108, janvier 2014, p. 37-58 ; Gabbey, « The Mechanical Philosophy and its Problems : Mechanical explanations, Impenetrability, and Perpetual Motion », éd. J. C. Pitt, *Change and Progress in Modern Science*, p. 9-84.

6 Voir Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 325, note « e » des variantes du texte. Jusqu'à la cinquième édition de 1700 Malebranche écrit concevoir qu'une partie de la matière puisse se séparer d'une autre, « c'est-à-dire que l'on conçoit sans peine le mouvement local, & que ce mouvement local produit une figure dans l'un & dans l'autre corps qui sont

Figure ici le mouvement rectiligne comme élément le plus simple et son caractère premier parmi les principes assurant la formation du monde. Le privilège accordé à ce mouvement se conçoit du point de vue méthodologique : « il n'y a que le mouvement en ligne droite qui soit simple », et alors il faut « d'abord » le considérer afin d'en déduire le mouvement circulaire. Ce privilège dépasse cependant un aspect heuristique en ce sens que si « les corps tendent sans cesse » à se mouvoir de la sorte ceci provient de ce que « Dieu agit suivant les voies les plus simples »¹. Au demeurant, les plus grands tourbillons sont ceux dont la courbure est moindre, donc plus approchante de la droite, et ceci parce que leurs parties « auront eu plus de force » pour poursuivre une trajectoire rectiligne. Cette « force » se voit aussi associée à la « grandeur » de telles parties : la « force à continuer [un] mouvement en ligne droite » de la matière étant d'autant plus grande que les corps sont plus « grands », les plus petits corps se répartissent vers le centre des tourbillons, les plus grands vers la circonférence puisque les lignes décrites par les corps vers la circonférence « approchent plus de la droite »². Ces différents points correspondent aux notions de solidité-agitation introduites par Descartes justifiant notamment la répartition des éléments dans ce monde³.

Selon Descartes, les éléments naissent des « oppositions » des mouvements. Sous l'effet de chocs, les parties de l'étendue originelle viennent à « s'arrondir » et à « rompre » leurs angles formant alors des « boules rondes » douées d'un mouvement de rotation propre et emportées dans la circulation des grands tourbillons que Descartes nomme le second élément. La « matière tres-fluide & tres-agitée » engendrée par le « froissement » de ces « boules » forme le premier élément⁴. Cette matière divisée en « des parties beaucoup plus petites, & qui ont beaucoup moins de force pour continuer leur mouvement en ligne droite que les boules ou le *second élément* » se place au centre du grand tourbillon et entre ces « boules » ; ces dernières remplissent le tourbillon jusqu'à sa circonférence et ce à « proportion » de leur « grosseur » ou de leur « force ». Ainsi localisé, le premier élément forme le Soleil et les étoiles, et « l'effort » du second s'éloignant de ces centres leur lumière qui se propage « en un instant ». Les parties de ce premier élément qui peuvent « s'attacher » et se « lier » donnent des « taches », dont certaines s'épaississant en « croûtes » recouvrent les étoiles et forment alors « une matière solide & grossière » appelée le troisième élément par Descartes⁵.

Une étoile couverte de taches et de croûtes devient une planète et « n'a plus la force de soutenir & de défendre son tourbillon contre l'effort continuel de ceux qui l'environnent ». Il « diminuë » peu à peu, sa matière se « répand de toutes parts » jusqu'à ce qu'un autre tourbillon « enveloppe » cet astre qui, tout en conservant une partie de sa propre matière subtile et de son mouvement circulaire, se voit entraîné autour d'un nouveau centre⁶. La planète se met alors en équilibre dans ce nouveau milieu avec « un égal volume de la matière dans laquelle elle nage » : en fonction de sa « solidité » et de sa « grandeur » lesquelles définissent sa « force pour continuer son mouvement en ligne droite, elle doit se placer dans l'endroit de ce tourbillon, où un égal volume du second élément a autant de force qu'elle pour

mûs » ; ce mouvement suit une droite à partir de laquelle s'opère une circulation de la matière pour prendre la place laissée suivant un mouvement circulaire.

1 Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 326-327.

2 *Ibid.*, p. 327.

3 Sur la solidité et l'agitation, voir Partie I, Chapitre I.

4 Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 327.

5 *Ibid.*, p. 327-329.

6 *A contrario*, les étoiles fixes « gardent toujours entre elles la même distance ; puisqu'elles sont le centre des tourbillons, & qu'elles ne sont pas entraînées tant qu'elles résistent aux autres tourbillons, ou qu'elles sont étoiles. Elles sont toutes éclatantes comme de petits Soleils, parce qu'elles sont comme lui les centres de quelques tourbillons, qui ne sont point encore vaincus ». La disparition d'étoiles résulte du même processus de formation de croûtes ; l'apparition, du fait que les tâches qui en empêchaient l'éclat se dissipent. *Ibid.*, p. 334.

s'éloigner du centre ; car elle ne peut être en équilibre qu'en cet endroit »¹. Ce raisonnement s'applique à un tourbillon qui peut en « envelopper & surmonter » plusieurs autres « qui eux-mêmes en auroient surmonté quelques autres » et qui possèdent ainsi des satellites (« de plus petites Planètes ») : les planètes au centre de tels tourbillons se « mettent en équilibre avec un égal volume de la matière » du second élément, et « si ces Planètes sont inégales en solidité, elles seront dans une distance inégale du centre du tourbillon dans lequel elles nageront » ; leurs « petites Planètes » tournent autour de ces astres animés de mouvements de rotation, l'ensemble étant emporté par la révolution du grand tourbillon².

La matière du troisième élément constituée « du premier [élément] dont les figures sont infinies [...] doit être revêtuë d'une infinité de formes différentes » ; les corps formés par l'« assemblage » des parties de cet élément sont donc de plusieurs sortes³. Certains possèdent des « parties [...] branchuës », d'autres « longues », et d'autres « rondes, mais irrégulières », ces configurations leur conférant des propriétés différentes. Aux « parties branchuës » et « grosses » correspondent des corps « durs » mais « flexibles » et « sans ressort » tel que l'or ; d'autres moins « grosses » forment des corps « moûs ou fluides, comme les gommés, les graisses, les huiles » ; les « parties branchuës [...] délicates » donnent une matière semblable à l'air ; les sels, « piquans, incorruptibles, faciles à dissoudre » comprennent des « parties longues [...] grosses & inflexibles » et en cas de flexibilité, ces corps possèdent les propriétés de l'eau ; enfin, ceux constitués de « parties grossières & irrégulières [...] seront semblables à la terre, & aux pierres » ; les corps possédant des pores laissant passage en tous sens au second élément sont transparents ; s'ils se composent de parties suffisamment environnées et agitées par le premier élément pour repousser le second, ils apparaissent lumineux, et s'ils repoussent le second élément par « diverses secousses ou vibrations, ils paroîtront de diverses couleurs » (*ibid.*, p. 335). Par ailleurs, « il y aura des corps de plusieurs différentes natures, & il n'y en aura pas deux qui soient entièrement semblables, parce que le premier élément est capable d'une infinité de figures, & que toutes ces figures ne se combineront jamais de la même manière en deux différens corps » (*ibid.*, p. 334-335).

Concernant leur situation par rapport au centre d'une planète, plus un corps est pesant ou, dit autrement, moins il possède de « force pour continuer son mouvement en ligne droite », plus il s'approche de ce point. Ainsi, les métaux, tout en étant plus « solides » et donc *a priori* plus à même de conserver un mouvement en ligne droite que les pierres ou l'air, possèdent cependant « moins de mouvement » que ceux-ci et sont ainsi plus proches du centre. La répartition des corps (les métaux vers le centre, puis la terre, l'eau et enfin l'air) s'interprète en fonction de leur pesanteur respective. En effet, ces corps « grossiers » participent du mouvement circulaire de la matière subtile mais les parties de celle-ci possèdent aussi des mouvements désordonnés « faisant effort vers différens côtes » qui ne peuvent pas être communiqués à ces corps mais ne servent qu'à les comprimer : la matière subtile possède alors « beaucoup plus de mouvement qu'elle n'en employe à circuler », surcroît de mobilité qui rend « la matière subtile plus légère que les corps grossiers dont les parties sont comme au repos les unes auprès des autres ». Dès lors, « les corps grossiers n'ayant que le mouvement circulaire & commun à toute la terre [...] sont obligés de céder, & par conséquent de se rapprocher vers le centre du tourbillon, c'est-à-dire qu'ils sont d'autant plus pesants qu'ils sont plus solides ». *A contrario*, les corps « grossiers » éloignés du centre du tourbillon possèdent « d'autant plus de mouvement qu'ils sont plus solides puisqu'ils vont à peu près de la même

1 S'il n'existe aucun lieu « où un égal volume de matière [du second élément] ait autant de solidité que cette Planète, & par conséquent autant de force pour continuer son mouvement en ligne droite », l'équilibre ne peut survenir, et « on la verra quelque fois passer comme les Comètes », *ibid.*, p. 330.

2 *Ibid.*, p. 331.

3 *Ibid.*, p. 329 et p. 334.

vitesse que la matiere subtile dans laquelle ils nagent » ; ces corps sont d'autant moins pesant qu'ils sont plus solides (*ibid.*, p. 335-338)¹.

Cette cosmogonie repose ainsi sur une conception de la matiere, dont l'essence correspond à l'étendue, et sur la simplicité des voies au fondement du mouvement rectiligne : « nous sommes obligez en suivant les lumieres de la raison, d'arranger ainsi les parties qui composent le monde, que nous imaginons se former par les voyes les plus simples. Car tout ce qu'on vient de dire n'est appuyé que sur l'idée qu'on a de l'étenduë, dont on a supposé que les parties tendent à se mouvoir par le mouvement le plus simple, qui est le mouvement en ligne droite » (*ibid.*, p. 331). Cette simplicité des voies fondant aussi chez Descartes cette primauté accordée à la trajectoire rectiligne² affecte plus globalement « l'œconomie de toute la nature », puisque l'« étenduë toute seule » à la base du système relève de ce précepte :

non seulement il est tres-conforme à la raison, mais encore il paroît par l'œconomie de toute la nature, que Dieu ne fait jamais par des voyes tres-difficiles, ce qui se peut faire par des voyes tres-simples & tres-faciles : Car Dieu ne fait rien inutilement & sans raison. Ce qui marque sa sagesse & sa puissance n'est pas de faire de petites choses par de grands moyens ; cela est contre la raison, & marque une intelligence bornée. Mais au contraire, c'est de faire de grandes choses par des moyens tres-simples & tres-faciles. C'est ainsi qu'avec l'étenduë toute seule, il produit tout ce que nous voyons d'admirable dans la nature, & même ce qui donne la vie, & le mouvement aux animaux³.

Cette simplicité donne à voir la manière dont se formerait le monde au cours du temps par l'action des seules lois et comment aussi il se conserve à chaque instant par celles-ci : « une chose qui semble tres-digne de la sagesse humaine & de la puissance de Dieu, sçavoir, qu'il a formé tout d'un coup l'univers dans le même état que ses parties se sont arrangées avec le tems selon les voyes les plus simple, & qu'il le conserve aussi par les mêmes loix naturelles »⁴.

Sur cet aspect, Malebranche défend Descartes contre ceux qui estimeraient que la genèse du système consignée dans les *Principes* s'avérerait contraire à l'enseignement de « l'écriture sainte ». En effet, « M. Descartes n'a jamais prétendu que les choses se soient faites peu-à-peu comme il les décrit »⁵ : il s'agit selon Descartes d'une « hypothese, pour expliquer ce qui est sur la terre, afin que je montre évidemment [...] qu'on peut, par ce moyen, donner des raisons tres-intelligibles & certaines de toutes les choses ... qui s'y remarquent, & qu'on ne puisse faire le semblable par aucune autre invention, nous ayons sujet de conclure, bien que le monde n'ait pas esté fait au commencement en cette façon, & qu'il ait été immédiatement créé de Dieu, toutes les choses qu'il contient ne laissent pas d'estre maintenant de mesme nature, que si elles avoient été produites »⁶. Il s'agit alors « pour comprendre bien la nature des choses [de] les [...] considérer dans leur origine & leur naissance » en commençant par les plus simples. Pour Malebranche, Descartes savait que « les loix de la nature par lesquelles Dieu conserve tous ses ouvrages dans l'ordre & la situation où ils subsistent, sont les mêmes loix que celles par lesquelles il a pû les former & les arranger ». Sans cela, si Dieu n'avait pas

1 Nous revenons ci-dessous sur l'explication de Descartes de la pesanteur en analysant celle proposée par Malebranche.

2 Descartes, *Principes*, II, AT IX, art. 39, p. 85-86 : « La 2. loy de la nature : Que tout corps qui se meut, tend à continuer son mouvement en ligne droite [...] depend de ce que Dieu est immuable, & qu'il conserve le mouvement en la matiere par une operation tres-simple ; car il ne le conserve pas comme il a pû estre quelque temps auparavant, mais comme il est precisement au mesme instant qu'il le conserve ».

3 Voir Malebranche, RDV, III, II, VI, p. 438. Sur ce principe de simplicité des voies alors couramment admis à l'époque, voir RDV III, II, VI, note 366 p. 529.

4 Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 328 et p. 325.

5 *Ibid.*, p. 340.

6 Descartes, *Principes*, IV, AT IX, art. 1, p. 201. Voir aussi *Principes*, III, AT IX, art. 45, p. 124 : « nous ferons mieux entendre quelle est generalement la nature de toutes les choses qui sont au monde, si nous pouvons imaginer quelques principes qui soient fort intelligibles & fort simples, desquels nous facions voir clairement que les astres & la terre, & enfin tout le monde visible auroit pû estre produit ainsi de que quelques semences ». Pour ces deux passages cités, voir Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 341 et p. 342-343.

arrangé instantanément la création comme elle se ferait au cours du temps selon ces lois, « tout l'ordre de la nature se renverseroit, puisque les loix de la conservation seroient contraires à l'ordre de la premiere création » : « si Dieu les avoit mis dans un ordre différent de celui où elles se fussent mises par ces loix du mouvement, toutes choses se renverseroient & se mettroient par la force de ces loix dans l'ordre où nous les voyons présentement »¹.

MATIERE ET SYSTEME EN DEVENIR

Cet « abrégé » présent dans toutes les éditions de *De la recherche* contient dans celles de 1700 et 1712 des ajouts sous la forme de notes marginales ou dans le corps du texte : cette illustration de l'usage de la seconde partie de la « règle générale » se partage alors entre amendements et modifications du système de Descartes. Bien que Malebranche évoque ci-dessus des « loix naturelles » qui résultent de la simplicité des voies, il est dans cet « abrégé » avant tout question de la tendance au mouvement rectiligne de la matière et, bien qu'ici Malebranche ne le précise pas, il faut supposer que cette simplicité affecte aussi bien cette direction que l'uniformité de la vitesse des corps. Si Malebranche semble ici suivre les première et deuxième lois des *Principes* de Descartes, il prend ses distances vis-à-vis de son aîné au sujet de la matière originelle qu'il suppose non dure parce que sans force, absence résultant dans ce chapitre de « l'idée qui [...] représente » la matière. Malebranche n'évoque pas dans l'« abrégé » une dureté ou une force de repos qui résulterait du mode d'action de Dieu et paraît ainsi reconduire la dichotomie déjà observée entre repos et mouvement².

L'« abrégé » invite aussi le lecteur à consulter l'*Eclaircissement XVI* de *De la recherche de la vérité* modifiant alors certains aspects de la cosmogonie cartésienne. Ces renvois apportent un correctif à Descartes, qu'il s'agisse d'un refus des « petites boules [...] dures » de son second élément, de ses explications de la pesanteur et de la propagation de la lumière³. Au demeurant « au tems de M. Descartes on n'étoit point entré dans le secret des forces centrifuges, & [...] l'on ne sçavoit point encore en mesurer les rapports, ce qui est néanmoins nécessaire pour perfectionner la Physique celeste ». Selon Malebranche la combinaison de la troisième loi de Kepler avec la mesure de la force centrifuge aurait permis à Descartes « de corriger quelques endroits de sa Physique & de la rendre plus parfaite » car il aurait découvert « une raison naturelle de l'équilibre de la matière céleste & les rapports des vîtesses & des distances des planetes qu'elle entraîne en circulant »⁴. Si l'équilibre ici mentionné concerne la « matière céleste », autrement dit les grands tourbillons, il touche aussi les petits tourbillons substitués au second et au premier élément de Descartes⁵.

Ce premier élément composant les corps terrestres, la réforme apportée par Malebranche devrait affecter la formation de ceux-ci. Cependant, il n'évoque pas ici la genèse de tels corps

1 Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 341-342. Le fait que Dieu forme « tout d'un coup » le monde dans le même « état », le même « ordre » et le même « arrangement de parties » où il se serait trouvé en le créant peu à peu selon les voies les plus simples est digne la « puissance » de Dieu (car il fait en l'instant des ouvrages « dans leur plus grande perfection »), et de sa sagesse (parce que par là il fait connaître qu'il prévoyait ce qui devait arriver dans la matière mue selon les voies les plus simples et parce que le monde ne se serait pas conservé en le supposant produit selon d'une manière contraire aux lois qui le conservent), *ibid.*, p. 343.

2 Voir Partie I, Chapitre II.

3 Concernant le second élément de Descartes, Malebranche insère dans une note : « M. Descartes croit que ces petites boules sont dures. Mais ce sont plutôt de petits tourbillons d'une matiere fluide : Ainsi que je le dirai dans l'éclaircissement sur la lumiere & les couleurs », à savoir l'*Eclaircissement XVI* des éditions de 1700 et 1712, RDV VI, II, IV, p. 327. La question de la couleur des corps donne lieu à un renvoi semblable (« Voyez le 16. Eclaircissement sur cet endroit à la fin de cet Ouvrage »), *ibid.*, p. 335. Après le résumé de l'explication cartésienne de la pesanteur, Malebranche écrit qu'il « explique plus exactement la cause de la pesanteur dans le pénultième éclaircissement [le seizième] vers la fin », *ibid.*, p. 337.

4 *Ibid.*, p. 339-340. Cet équilibre résultant de la troisième loi de Kepler et des forces centrifuges est développé dans l'*Eclaircissement XVI* de 1712 examiné ci-dessous.

5 Ce chapitre revient ci-dessous sur cette substitution.

et l'absence de force conduit à une matière originelle molle, non résistante, sinon infiniment molle et infiniment non résistante, sans que la formation des éléments et des corps à partir de celle-ci ne soit ici élucidée¹. Malebranche se réfère à des parties du premier élément « branchuës », « grosses », « durs » mais « fléxibles » et « sans ressort » constitutives de l'or, à celles « branchuës » et « délicates » de l'air, aux sels constitués de « parties longues [...] grosses & inflexibles » les faisant « piquans, incorruptibles, faciles à dissoudre » etc. ; autant d'aspects relevant d'une physique s'appuyant sur la « figure » des corps, aspect auxquels Malebranche n'apporte ici ni critiques ni rectificatifs à l'aune de sa nouvelle conception de la matière, aucune note et aucun renvoi vers d'autres parties de *De la recherche* qui indiqueraient aux lecteurs qu'il ne s'agit là que d'un résumé des *Principes* de Descartes et le guideraient vers une lecture complémentaire afin d'avoir le système complet rénové².

Le même jeu de renvois à l'*Eclaircissement XVI* figure dans le Chapitre IX de la seconde partie du Livre VI de *De la recherche* relatif à « la cause physique de la dureté »³. Seul le mouvement d'une « matiere invisible » comprimant les parties intérieures et extérieures d'un corps explique l'union de ses parties constitutives et leur séparation nécessite de « vaincre » un « mouvement contraire »⁴. Ici, le fluide ne reçoit pas, avant l'édition de 1700, d'autres qualificatifs que ceux de « matiere invisible [...] extrêmement agitée » (*ibid.*, p. 437) composée de « petits corps [...] infiniment plus agitez que l'air grossier » (*ibid.*, p. 439), ou encore celui de « matiere subtile » (*ibid.*, p. 440) douée d'une « agitation violente » (*ibid.*, p. 442). Des ajouts de 1712 complètent alors cette rédaction en invitant à consulter l'*Eclaircissement XVI* qui précise la nature de ces « petits corps », à savoir des petits tourbillons, et leur force (*ibid.*, p. 439)⁵. Dans les quatre premières éditions de 1674 à 1688 de *De la recherche*, Malebranche ne tire pas à partir de ce Chapitre IX toutes les conséquences de son refus de la force de repos. Si ce rejet conduit à une nouvelle explication de la cohésion, il implique aussi nécessairement une nouvelle théorie des éléments. En effet, d'une part, la dureté en soi n'existe pas et ainsi le second élément de Descartes doit être reconsidéré. D'autre part, la force de repos vient fonder des règles du choc⁶ qui déterminent la mobilité des différents éléments entre eux, et par cette cohérence entre règles et système chacun prouve la véracité de l'autre :

-
- 1 Des savants rédigeant des éléments de cosmogonie à partir de la réforme de Descartes opérée par Malebranche se chargeront de décrire la nature des corps terrestres à l'aide des petits tourbillons. Voir Partie II, Chapitres II et III. Cette matière molle apparaît dans les études sur les règles du choc menées par Malebranche, voir Partie I, Chapitre II ; des critiques à son encontre dans les années 1730 et 1740 soulignent l'impossibilité de former un système et des corps avec celle-ci. Voir Partie II, Chapitre V.
 - 2 Parmi les adeptes des petits tourbillons de Malebranche, certains proposent une physique où la « figure » des corps joue un rôle important dans l'explication des phénomènes, tandis que d'autres rejettent ce genre de physique. Voir Partie II, Chapitre III.
 - 3 Pour un examen de ce chapitre, voir Partie I, Chapitre II.
 - 4 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 437- 439.
 - 5 Une note renvoie à l'*Eclaircissement XVI* « où je suppute la force centrifuge des petits tourbillons de la matiere subtile ». Voir aussi p. 442 concernant « l'agitation » de la matière subtile, invite à lire « le IV. livre ch. 2. nombre 5. ou plutôt ce que j'en dirai dans le XVI. Eclaircissement nombre XI. jusqu'à la fin » : la première référence évoque les effets du feu, des canons, des mines produit par l'action d'« une matiere subtile & invisible [...] tres-agitee » et invite à consulter « le 16. Eclaircissement sur la generation du feu », Malebranche, RDV, IV, II, § V, p. 27-29. Concernant la dureté, la flexibilité des corps et la fluidité, Malebranche renvoie aussi à cet *Eclaircissement XVI*, voir RDV, VI, II, IX, p. 442-443.
 - 6 « Ce grand homme [Descartes] concevant tres-distinctement que la matiere ne peut pas se mouvoir par elle-même, & que la force mouvante naturelle de tous les corps n'est autre choses que la volonté générale de l'Auteur de la nature, & qu'ainsi la communication des mouvemens des corps par leur rencontre mutuelle ne peut venir que de cette même volonté, il s'est laissé aller à cette pensée, qu'on ne pouvoit donner les regles de la differente communication des mouvemens, que par la proportion qui se trouve entre les differentes grandeurs des corps qui se choquent, puisqu'il n'est pas possible de pénétrer les desseins & la volonté de Dieu. Et parce qu'il a jugé que chaque chose avoit de la force pour demeurer dans l'état où elle étoit, soit qu'elle fût en repos ou en mouvement, à cause que Dieu dont la volonté fait cette force agit toujours de la même manière, il a conclu que le repos avoit autant de force que le mouvement. Ainsi il a mesuré les effets de la force de repos par la grandeur du corps en repos, comme ceux de la force du mouvement : ce qui lui a fait donner les regles de la communication du mouvement qui sont dans ses principes, & la cause de la dureté des corps, que j'ai tâché de réfuter », Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 444.

M. Descartes sçavoit bien que pour soutenir son système, de la vérité duquel il ne pouvoit peut-être pas douter, il étoit absolument nécessaire que les grands corps communicassent toujours de leur mouvement aux petits qu'ils rencontreroient, & que les petits rejallissent à la rencontre des plus grands, sans une perte pareille du leur. Car sans cela son premier élément n'auroit pas tout le mouvement qu'il est nécessaire qu'il ait pardessus le second, ni le second pardessus le troisième ; & tout son système seroit absolument faux, comme le sçavent assez ceux qui l'ont un peu médité. Mais en supposant que le repos ait force pour résister au mouvement, & qu'un grand corps en repos ne puisse être remué par un autre plus petit que lui, quoiqu'il le heurte avec une agitation furieuse ; il est visible que les grands corps doivent avoir beaucoup moins de mouvement qu'un pareil volume de plus petits, puisqu'ils peuvent toujours selon cette supposition communiquer celui qu'ils ont, & qu'ils n'en peuvent pas toujours recevoir des plus petits. Ainsi cette supposition n'étant point contraire à tout ce que M. Descartes avoit dit dans ses principes depuis le commencement jusqu'à l'établissement de ses regles du mouvement : & s'accommodant fort bien avec la suite de ses mêmes principes, il croyoit que les regles du mouvement qu'il pensoit avoir démontré dans leur cause, étoient encore suffisamment confirmées par leurs effets (*ibid.*, p. 447)¹.

Le rejet du concept implique conséquemment une révision du système. Comme la citation en exergue de ce chapitre le suggère, le « faux principe » de Descartes constitue alors la raison essentielle motivant le renouvellement de sa physique. Mais les différentes éditions de *De la recherche* et les modifications successives de ce livre constituent autant de pièces d'un puzzle que Malebranche ne semble pas totalement assembler. En effet, d'une part la cosmogonie cartésienne ne reçoit que des corrections locales et, d'autre part, l'*Eclaircissement XVI* de 1712 correspondant au texte scientifiquement le plus abouti renferme avant tout des justifications des petits tourbillons et des explications de phénomènes physiques. Ainsi, la manière dont les planètes se forment, l'origine des corps et la diversité de leur nature ne s'avèrent pas explicitées à l'aide de la matière originelle telle que la suppose Malebranche, à savoir privée de force, et en particulier à l'aide des petits tourbillons². Ainsi, lorsque Malebranche évoque la forme et les caractéristiques physiques des parties élémentaires donnant leurs propriétés à l'eau, les sels, l'air, les graisses, il reconduit avant tout le récit cartésien sans expliciter la manière dont ces parties se forment dans le nouveau cadre théorique qui est le sien³.

LE SYSTEME DES PETITS TOURBILLONS

Dans l'*Eclaircissement XVI* de 1712, cible des renvois des Chapitres IV et IX du Livre VI dévolus à l'« abrégé » de cosmogonie cartésienne et à la cohésion des corps, Malebranche livre sa conception définitive de la matière subtile avec laquelle il fonde des explications de phénomènes physiques absentes des précédentes éditions. Au demeurant, le Chapitre VIII de ce même Livre VI contient une explication du magnétisme, invitant elle-même à consulter cet *Eclaircissement*. Cette matière subtile est officiellement présentée dans les *Réflexions sur la lumiere et les couleurs, et la generation du feu*, mémoire publié dans les MARS de l'année 1699 qui se retrouvent intégrées dans l'*Eclaircissement XVI*. L'édition de 1700 de *De la recherche* reproduit quasi intégralement ce texte à quelques variantes près, celle de 1712 y

1 Ainsi, « la certitude des principes de la Philosophie de M. Descartes ne peut donc servir de preuves pour défendre ses regles du mouvement » et par un nouveau examen attentif de Descartes de ses *Principes*, « il n'auroit pas crû que les effets de la nature eussent confirmé ses regles », *ibid.*, p. 448.

2 Une telle étude est notamment menée par Privat de Molières qui détaille les éléments chimiques qu'il compose à l'aide des petits tourbillons. Voir Partie II, Chapitre III.

3 Chez Descartes, pour l'eau et les sels, voir *Principes*, IV, AT IX, art. 35, 36 et 48 p. 219-220 et p. 227 ; pour l'air, art. 33, p. 218, art. 45-46 p. 226 ; pour les matières grasses, bitume etc. p. art. 62, p. 235. La Partie II, Chapitre III revient de manière plus détaillée sur la nature de ces corps chez Descartes.

ajoute notamment des parties sur le mécanisme de la pesanteur, la mécanique céleste, des lois de l'optique ; le mémoire de 1699 occupe un peu moins que le premier tiers du texte de 1712¹.

En 1712, sur un total de dix mentions, ce premier tiers se réfère à sept reprises à Descartes en évoquant systématiquement son second élément, les trois autres occurrences concernent des sujets différents² : proportions qui rendent manifeste l'importance de ce sujet en 1699, l'ajout de 1712 ne faisant qu'essentiellement tirer les conséquences de la réforme du système de Descartes. L'étude de 1699 portant spécifiquement sur des questions liées à la lumière, ce domaine semble être une étape importante conduisant Malebranche à sa révision du système, au même titre que la nouvelle explication de la cohésion. Dans les deux cas, il s'agit de conséquences tirées du refus de la force de repos de Descartes ; la première page de *l'Eclaircissement XVI* s'ouvre sur ce second élément composé de « petite boules dures [...] par elles-mêmes » ce que Malebranche estime « avoir suffisamment prouvé n'être pas vrai » en renvoyant alors au Chapitre IX du Livre VI (*ibid.*, p. 255). La force de repos supprimée, la matière subtile explique la dureté et Malebranche pourrait alors tout aussi composer la lumière de corps contigus élastiques dont la cohésion résulterait de cette pression du fluide subtil. Mais l'effort de *l'Eclaircissement XVI* dépasse le cadre d'explications touchant à un domaine physique particulier :

la supposition que j'ai faite, que la matiere subtile ou étherée n'est composée que d'une infinité de petits tourbillons, qui tournent autour de leurs centres avec une extreme rapidité, & qui se contrebalancent les uns les autres, comme les grands tourbillons que M. Descartes a expliquez dans ses Principes de Philosophie : cette supposition, dis-je, n'est point arbitraire. Et comme je suis persuadé que c'est le vrai principe de la physique générale dont dépendent les effets particuliers, je croi la devoir prouver, & en déduire l'explication de quelques veritez de consequence (*ibid.*, p. 270).

L'éther ainsi conçu fait figure de « vrai principe » car « toute la Physique dépend de la connoissance de la matiere subtile » (*ibid.*, p. 303). Reste alors à décrire le nouveau système du monde réformé, à justifier l'existence de ce « principe », à en évoquer les propriétés, et à montrer sa fécondité en établissant ses modes d'action³.

LE SYSTEME ET SES JUSTIFICATIONS

Le ballon comprimé

L'image d'« un ballon plein d'eau, ou plutôt d'une matiere infiniment fluide, & de plus extrêmement comprimée »⁴, originellement présente en 1699 et figurant en 1700 et 1712, au-delà de seulement fonder « les causes naturelles de la Lumière & des Couleurs » (*ibid.*, p. 255), donne à voir le système du monde, ce ballon étant en partie ou totalité l'univers. S'appuyant sur les acquis du Chapitre IX concernant la cohésion des corps, Malebranche remplit le réceptacle d'une matière « telle a peu près que M. Descartes a décrit celle de notre tourbillon, excepté que les petites boules de son second élément, qu'il suppose dures ne sont elles-mêmes que des petits tourbillons, ou du moins qu'elles n'ayent de dureté que par la compression de la matiere qui les environne » (*ibid.*) Ce « grand ballon » qu'est le tourbillon terrestre se voit « comprimé par une force infinie ou comme infinie » (*ibid.*, p. 271), compression provenant des tourbillons voisins, l'ensemble répondant et se voyant domestiqué

1 Ces variantes entre le mémoire de 1699 et l'édition finale de 1712 font l'objet de notes de bas de pages détaillées dans Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 255-305.

2 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 255, p. 259, p. 263 (par deux fois), p. 266, p. 267, p. 269 ; voir aussi p. 270 en évoquant les petits tourbillons suivant le modèle des grands de Descartes, p. 276 concernant l'explication de Descartes de la pesanteur, p. 305 relatif aux endroits qu'il reste à « corriger » dans l'« abrégé ».

3 Voir Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 206-211, p. 281-298.

4 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 256.

par la puissance du Créateur¹. Dans chaque grand tourbillon céleste, la « matière fluide » tourne autour d'un centre commun, et la solution apportée pour contrecarrer l'expansion d'un tel ensemble est d'ordre métaphysique². Outre ce premier mouvement, Malebranche écrit que chaque partie de cette matière « pour remplir tout son mouvement, c'est à dire pour se mouvoir autant qu'elle a de force, [est] encore obligée de tourner sur le centre d'une infinité de petits tourbillons, & de couler entr'eux, & tout cela avec une rapidité extraordinaire »³. La force agissant sur les grands tourbillons assure aussi la compression de ces petits entre eux : « toutes les parties de l'*ether* ou de la matière subtile & invisible de notre tourbillon [sont] comprimées avec une force comme infinie par ceux qui l'environnent » (*ibid.*, p. 261).

Malebranche évoque cette « rapidité » du mouvement de l'éther lequel provoque les « effets du tonnerre, ou plutôt ceux de la poudre à canon ». Un corps ne se meut que parce qu'il est poussé par un autre en contact immédiat, et le boulet sort du canon par la poussée de la poudre, elle-même « mise en feu, ou en mouvement, que par la matière subtile qui la touche & la pénètre » ; tout ceci suggère alors l'« extrême rapidité » de la « cause primitive » de tels effets. Cette vitesse rend impensable la stabilité du monde à moins d'une domestication de l'éther sous la forme d'un équilibre de petits tourbillons : « si cette matière se mouvoit en même sens, tous les corps qu'elle environne seroient transportez dans son cours avec plus de vitesse que la foudre : car la vitesse de la foudre, aussi-bien que celle du boulet de canon, a pour cause primitive celle de la matière éthérée : Et cela par la même raison que la terre, l'air, les Villes, &c. sont emportez en vingt-quatre heures par le grand tourbillon qui nous environne ». Aussi, « tout le mouvement qu'a la matière éthérée, n'est pas employé dans le cours à peu près circulaire ou elliptique des grands tourbillons, qui entraînent les planètes principales autour du soleil, & leurs satellites autour du soleil & de la planète à l'entour de laquelle ils circulent », car « toutes les parties de cette matière ont encore des mouvements très rapides » (*ibid.*, p. 270-271).

La formation des petits tourbillons résulte d'une compression exercée sur un monde plein, les mouvements des parties de ce monde se résistant mutuellement, de la divisibilité à l'infini de la matière et de son absence de résistance :

parce que l'Univers est comprimé par une force infinie ou comme infinie, & qu'il n'y a point de vuide, ces parties de la matière subtile se résistant réciproquement par leurs mouvemens divers & particuliers, il est nécessaire qu'elles se divisent sans cesse, & forment de petits tourbillons, & dans ceux-ci d'autres encore plus petits, & même encore d'autres moins durables dans les intervalles concaves que laissent entre eux les tourbillons qui se touchent. Tout cela parce que la matière est divisible à l'infini, & que chaque partie ne fait par elle-même nulle résistance à être divisée puisque le repos n'a point de force, & que la dureté ne vient que du mouvement de ceux qui les compriment, ainsi que je l'ai prouvé fort au long dans le dernier chapitre de la Methode (*ibid.*)

La lecture du Chapitre IV du Livre VI offre des précisions, notamment sur ce qui paraît ici contradictoire, à savoir d'une part l'évocation de la résistance de l'éther et, d'autre part, celle de son absence de résistance à la division ; il faut probablement prendre le mot « résistant » en début de citation pour synonyme d'impénétrable, le second usage du mot relevant de l'absence de force de la matière au repos. Malebranche n'évoque pas ici la nature de ces

1 Roux remarque que « dire que les petits tourbillons se contrebalancent les uns les autres, c'est ainsi dire physiquement qu'ils s'entravent, s'équilibrent et s'anéantissent les uns les autres, mais tout aussi bien dire métaphysiquement qu'ils sont domestiqués pour servir aux fins ultimes du Créateur ». Voir Roux, *La philosophie mécanique*, p. 553. Sur cette compression « infinie » ou « comme infinie », voir aussi Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 255 et p. 261 : « toutes les parties de la matière éthérée se touchent, [...] elles sont très fluides, & elles [...] sont comprimées par le poids, pour ainsi dire, de tous les tourbillons qui sont eux-mêmes comprimés par une force infinie qui répond à la puissance infinie du Créateur, ou du moins une force comme infinie ».

2 C'est aussi le cas de Mazière dans son *Traité des petits Tourbillons*, voir Partie II, Chapitre II.

3 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 255.

« mouvemens divers » sur laquelle nous reviendrons ; là-encore, le Chapitre IV permet de spécifier en remarquant l'importance accordée aux trajectoires rectilignes.

De plus, Malebranche estime « nécessaire » que cette matière « se mette, & se meuve en petits tourbillons, qui se contrebalancent les uns les autres par leurs forces centrifuges, & qu'ils fassent entre eux une espèce d'équilibre, en sorte qu'ils soient tous également pressez ou comprimez » (*ibid.*, p. 270)¹. En effet, en supposant une partie de l'éther moins comprimée que les autres, « il est clair que les autres retomberoient sur elle », car « tout corps [va] du côté vers lequel il est moins pressé » : par cette hétérogénéité introduite dans l'espace, « les diverses couleurs ou diverses vibrations de pression ne pourroient pas se transmettre par des espaces immenses, & en un instant sans changement dans la promptitude de leurs vibrations » (*ibid.*, p. 271).

A la fin de l'*Eclaircissement XVI*, Malebranche revient sur ce qui lui importe le plus comme éléments prouvant sa « supposition » des petits tourbillons : « il suffit que j'aye prouvé ma supposition par la rapidité étonnante de la matière éthérée ; & par la résistance qu'elle trouve dans le plein qui oblige ses parties mûës en tous sens à se mettre en tourbillons » (*ibid.*, p. 304).

Système et considérations optiques

Dans le premier tiers de l'*Eclaircissement XVI*, autrement dit, dans le mémoire de 1699, Malebranche présente son système afin de le faire « paroître assez vrai-semblable », notamment à ceux connaissant l'explication de Descartes des couleurs, à travers des considérations optiques (*ibid.*, p. 259). Il s'attache à la propagation de la lumière et à l'origine des couleurs l'une et l'autre étant associées à des pressions au sein du fluide ; il critique ensuite la théorie de Descartes sur ce sujet ; il développe enfin son mécanisme du feu, comme là aussi une alternative à Descartes.

Les « vibrations de pression plus ou moins promptes » des tourbillons de la matière subtile rend compte de la propagation de la lumière et des différentes couleurs (*ibid.*, p. 258). Malebranche suppose « un ballon plein d'eau, ou plutôt d'une matiere infiniment fluide, & de plus extrêmement comprimée » (Fig. 5). Percé d'un trou en *A*, les parties du fluide en *R*, *S*, *T*, *V* à l'origine également comprimées cessent de l'être et tendent alors vers *A* suivant les lignes *RA*, *SA* car « tout corps pressé doit tendre à se mouvoir par le côté où il trouve moins de résistance ». Par la poussée d'un piston agissant à l'ouverture *A*, ces mêmes parties tendent à s'en éloigner suivant les mêmes droites ; le va-et-vient du piston provoque dans la matière en supposant « que le ressort soit fort grand, ou qu'il ne prête ou ne s'étende que tres-difficilement [...] une infinité de secousses » dénommées « vibrations de pression » (*ibid.*, p. 256-257).

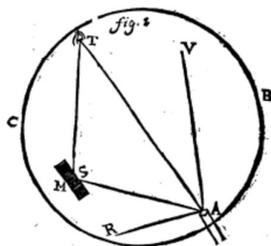


Fig. 5 : Malebranche, *De la recherche de la vérité* (1712), t. 4, p. 437

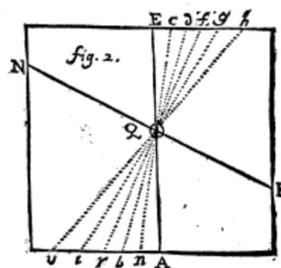


Fig. 6 : Malebranche, *De la recherche de la vérité* (1712), t. 4, p. 448.

1 Voir aussi p. 271 : « ces petits tourbillons sont nécessitez par leurs mutuelle résistance de s'ajuster ensemble, & de se contrebalancer de manière qu'ils puissent remplir leurs mouvemens, en se mettant entre eux dans une espèce d'équilibre ».

L'appareillage exemplifie le mécanisme de propagation de la lumière, le « flambeau » se substituant au piston, et l'éther à l'eau. Tout d'abord, ce milieu comprime « actuellement » les yeux, fermés ou dans l'obscurité : agissant alors également sur le nerf optique, le fluide « n'excite point de sensation de couleurs » ; Malebranche rend compte de cette pression non ressentie par une analogie avec l'air dont « nous ne sentons point le poids » bien que celui-ci équivaut à « vingt-huit pouces de vif-argent » (*ibid.*, p. 257). *A contrario*, par leurs divers mouvements « les parties de la flamme [...] presseront sans cesse plus fortement que dans les ténèbres & par des secousses ou vibrations tres-promptes, la matière subtile de tous côtez », et ce jusqu'au fond de l'œil « à cause du plein » : le nerf optique de l'observateur en *T* « excitera dans l'ame la sensation de lumière ou de blancheur vive & éclatante » (*ibid.*) Le fait qu'un corps en *M* paraisse noir résulte d'une absence de réflexion de la lumière à son niveau, de la même manière que l'équilibre de l'éther implique l'obscurité. Si en *M* un miroir réfléchit les vibrations produites par le flambeau, elles arrivent au niveau de l'œil en « des vibrations également promptes, ce corps paroîtra blanc, & d'autant plus blanc qu'il y aura plus de rayons réfléchis » (*ibid.*, p. 257-258)¹. Si *M* renvoie des rayons excitant au niveau du nerf optique des vibrations « plus ou moins promptes dans certains dégrez » il s'ensuit « des couleurs simples homogenes ou primitives, comme le rouge, le jaune, le bleu, etc. » et « les autres couleurs composées, & même la blancheur qui est la plus composée de toutes, selon les divers mélanges des rayons dont les vibrations auront diverses promptitudes » (*ibid.*, p. 258). Ainsi, la « blancheur » se compose de « l'assemblage des vibrations différentes en promptitude, que produit dans la matière subtile chaque partie différente de la flamme », « l'éclat vient de la force des vibrations, & la couleur de leur promptitude ». Les couleurs résultent « des vibrations de pression plus ou moins promptes » des tourbillons de la matière subtile, et « comme tout est plein & infiniment comprimé chaque rayon conserve dans toute sa longueur la même promptitude de vibration qu'à la petite flamme qui le produit » (*ibid.*) Malebranche associe donc une couleur à ce qui correspond à une fréquence de vibration ; « la force des vibrations » paraît dépendre davantage du nombre de rayons que de l'amplitude d'une vibration².

A cette présentation font suite des « preuve[s] » d'un tel système. Tout d'abord, les couleurs dépendent de l'ébranlement causé sur le nerf optique lequel est « fort & foible » ou « prompt & lent », mais l'expérience apprend que le plus ou le moins de « force » de cet ébranlement « ne change point l'espece de la couleur »³. Les différentes couleurs résultent ainsi des promptitudes des vibrations⁴. Malebranche s'appuie ensuite sur une analogie avec l'acoustique : la « force des vibrations » de la matière subtile produit « la force ou l'éclat des couleurs » et leur « promptitude » les « différentes espèces de couleurs », à l'instar de « la grandeur du son » résultant de la « force des vibrations de l'air grossier » et de « la diversité des tons » provenant de la « promptitude » de ces vibrations⁵. Enfin, un tel système rend compte de la différence de vitesse de propagation existant entre le son et la lumière : « l'air n'est comprimé que par le poids de l'atmosphère », mais pour la lumière « les parties de la matière éthérée se touchent, [...] elles sont tres-fluïdes, & sur tout [...] elles sont comprimées par le poids, pour ainsi dire, de tous les tourbillons qui sont eux-mêmes comprimez par une

1 La mention de « vibrations également promptes » signifie des vibrations de vitesses égales à celles émises par la source lumineuse.

2 Malebranche associe en effet l'« éclat » avec la quantité de rayons réfléchis. Voir sur ce point les commentaires de Costabel, « *Commentaire scientifique sur les éclaircissements XVI-XVII* », OCM III, p. 388.

3 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 259-260. Ainsi « le plus & le moins de jour, dont dépend le plus & le moins de cette force, ne fait point voir ordinairement les couleurs d'une espece différente & toute opposée ».

4 *Ibid.*, p. 260.

5 *Ibid.* Pour cette analogie, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 277-280 ; Costabel, « *Commentaire scientifique* », OCM III, p. 389 ; Darrigol, « The analogy between light and sound in the history of optics from Malebranche to Thomas Young ».

force infinie qui répond à la puissance infinie du Créateur »¹. La transmission de la lumière se fait « en un instant ou en tres-peu de temps »². Malebranche mentionne alors Huygens qui à partir d'observations astronomiques des éclipses des satellites de Jupiter et d'une estimation de la vitesse de la propagation du son considère que la lumière se transmet environ six cent mille fois plus vite que le son³. Il prend cependant ses distances par rapport à cette conclusion, remarquant que la dureté résulte de la compression de l'éther et qu'« il y a des corps si durs, qu'il faut employer une tres-grande force pour en séparer les moindres parties ». Ceci, joint au fait que « Monsieur [Jean Dominique] Cassini a observé des Eclipses des Satellites de Jupiter en différens éloignemens de la terre, lesquelles ne s'accordent point avec la conclusion de M. Hugen » lui fait soutenir que « le rapport du poids de l'éther à celui de l'atmosphère est beaucoup plus grand que de six cent mille à un, & qu'on peut même le regarder comme infini » ; l'édition de 1700 ne mentionnait qu'une transmission de la lumière en « très peu de temps », celle de 1712 y ajoute « en un instant ou en tres-peu de temps »⁴. Toujours en 1712, en supposant les tourbillons « également & comme infiniment comprimez » la propagation se fait « en un instant à cause qu'il n'y a point de vuide » cet instantanéité correspondant manifestement à la thèse privilégiée par Malebranche⁵.

Ensuite, compte parmi ces « preuve[s] » la résolution par le nouveau système – ce qui en justifie sa pertinence – d'une difficulté dans le système de Descartes. Malebranche écrit dans *Eclaircissement XVI* « avoir suffisamment prouvé » dans le « Chapitre dernier de la Recherche de la vérité » l'impossibilité que les « petites boules [...] dures par elles-mêmes » du second élément puissent exister⁶, et il livre un argument justifiant qu'une telle dureté rend impossible la transmission de la lumière et des différentes couleurs « par le même point où les rayons se croisent » (*ibid.*, p. 255-256). Ainsi, il imagine *APEN* (Fig. 6), la section d'une chambre peinte « d'une infinité de couleurs [...] les plus tranchantes qui se puissent ; c'est-à-dire qu'il y ait en *A*, du blanc proche du noir *n* ; du bleu *b*, proche du rouge *r* ; du jaune *i*, proche du violet *u* ». En traçant de ces points des lignes passant toutes par *Q*, un œil situé en *E*, *c*, *d*, *f*, *g* puis *h* voit toutes ces couleurs par l'entremise de *Q* ; ceci ne représente qu'une gamme discrète de couleurs perceptibles par l'œil, en réalité *Q* « doit recevoir & transmettre un tres-grand nombre d'impressions différentes, sans qu'elles se détruisent les unes les autres ». En supposant en *Q* une boule dure, « il seroit impossible que l'œil en *E*, vît du blanc en *A*, & qu'un autre œil en *c* vît du noir en *n*. Car lors qu'un corps est parfaitement dur, si quelque partie de ce corps avance quelque peu, ou tend directement vers le nerf optique de *A*, par exemple, vers *E*, il est nécessaire que toutes les parties de ce même corps y tendent aussi. Donc on ne pourra pas seulement voir du noir & du blanc dans le même temps par des rayons qui se croisent en *Q* ». Par ailleurs, l'explication cartésienne des couleurs s'avère déficiente. Face à Descartes qui prétend que le rouge résulte du tournoiement des boules de proche en

1 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 260-261.

2 *Ibid.*, p. 261. Voir la variante « c » correspondant à cet ajout.

3 Christian Huygens, *Traité de la lumière. Où sont expliquées les causes de ce qui luy arrive dans la reflexion & dans la refraction. Et particulièrement dans l'étrange refraction du Crystal d'Islande. Avec un Discours de la Cause de la pesanteur*, Leide, P. Vander Aa, 1690, p. 7-9 pour le développement sur ces observations astronomiques où Huygens évoque le rôle de Ole Römer. Par ailleurs, Huygens écrit que « le Son, selon ce que j'ay observé, fait environ 180 Toises dans le temps d'une Seconde ou d'un battement d'artere », *ibid.*, p. 6. Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 260 reprend cette valeur pour le son.

4 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 260-261. Les réserves de Malebranche sur l'évaluation estimée trop faible de Huygens apparaissent dès 1699 et Malebranche ajoute en 1712 la référence à Jean Dominique Cassini, voir sur ce point *Notes de l'éditeur*, note 179, p. 376-377. Cassini, mais c'est aussi manifestement la position de l'Académie, estime que les observations des éclipses des satellites de Jupiter ne permettent pas d'affirmer si le mouvement de la lumière est « successif » ou s'il se fait « en un instant », voir *De l'origine et du progrès de l'astronomie, et de son usage dans la géographie et dans la navigation*, MARS 1666-1699 (1730), t. VIII, p. 45-46.

5 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 293. Voir aussi *Eclaircissement XVII*, p. 313 et p. 336. Sur cette question de la propagation instantanée, voir les analyses de Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences*, p. 283-284.

6 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 255. Le « Chapitre dernier » est le Chapitre IX du Livre VI relatif à la dureté des corps.

proche depuis l'objet jusqu'à l'œil, Malebranche rétorque que si Q tourne autour de l'axe PN dans le sens allant de r (lieu du rouge) vers f où se trouve un observateur, elle ne peut pas en même temps posséder une autre rotation autour de l'axe rf , de N (en rouge) en P où Malebranche suppose un autre observateur. Le système de Descartes s'avère alors incapable de rendre compte de « l'action de la lumière propre à faire voir toutes sortes de couleurs », et seul « le système du monde qui peut éclaircir cette grande difficulté, sera conforme à la vérité ». En l'occurrence, il devient possible que « les impressions d'une infinité de rayons ou de couleurs différentes se communiquent sans se confondre » (*ibid.*, p. 262-264) si au lieu des « boules » dures telles que Q

on les conçoit infiniment fluides ou molles, ainsi que l'idée simple de la matière représente tous les corps, puisque le repos n'a point de force, qu'il est indifférent à chaque partie d'un corps d'être ou de n'être pas auprès de sa voisine, & qu'elle doit s'en séparer aisément, si quelque force, c'est-à-dire, quelque mouvement ne la retient ; car on ne conçoit point dans les corps d'autre force que leur mouvement ; si, dis-je, l'on conçoit ces boules ou tres-molles, ou plutôt, ce que je croi véritable, comme de petits tourbillons composez d'une matiere comme infiniment fluide & extrêmement agitée, elles seront susceptibles d'une infinité d'impressions différentes, qu'elles pourront communiquer aux autres, sur lesquelles elles appuyent, & avec lesquelles elles sont comme infiniment comprimées (*ibid.*, p. 264).

Dans ce contexte, considérer ici ces boules « infiniment fluides ou molles » signifie que dans un tel milieu « chaque partie se figure ou s'arrange de manière qu'elle satisfasse à toutes sortes d'impressions » (*ibid.*, p. 265). Au demeurant, une boule « molle » s'oppose à celles dures du second élément de Descartes et cette propriété dérive de ce fait que « le repos n'a point de force ». En somme, lorsque Malebranche évoque des « boules ou tres-molles, ou plutôt, ce que je croi véritable, comme de petits tourbillons », il renvoie à une propriété commune aux petits tourbillons et à la matière molle originelle, celle de prendre diverses figures. Lorsque ces « boules [...] tres-molles » subissent « quelque force, c'est-à-dire, quelque mouvement » qui « retient », autrement dit, qu'« agitée[s] » elles se voient comprimées par d'autres boules dont la matière est aussi en mouvement, alors l'adjectif « mol » ne renvoie plus à l'absence de force du milieu mais au caractère malléable des tourbillons. Par matière « fluide » composant les tourbillons il faut entendre celle dont les parties ne sont pas liées mais facilement, voire ici « infiniment », séparables les unes des autres et qui changent aisément de figure ; ceci vaut pour un milieu composé de petits tourbillons, ceux-ci assurant sa fluidité¹. Dès lors, la dureté rend impossible une transmission simultanée de couleurs, alors qu'« un point sensible de matière infiniment fluide, & comprimé de tous côtez, reçoit en même temps un nombre comme infini d'impressions différentes » et ce en remarquant : « 1°. Que la matière est divisible à l'infini, & que la plus petite sphère peut correspondre à toutes les parties d'une grande. 2°. Que chaque partie tend & avance du côté qu'elle est moins pressée ; & qu'ainsi tout corps mou & inégalement comprimé, reçoit tous les traits du moule, pour ainsi dire, qui l'environne ; & les reçoit d'autant plus promptement, qu'il est plus fluide & plus comprimé » (*ibid.*, p. 265-266)².

Conséquemment, ce système permet de « ou lever, ou du moins diminuer » cette difficulté que des rayons de différentes couleurs se croisent sans se détruire (*ibid.*, p. 266) : « leur action ne consiste point dans le mouvement direct des petits tourbillons, mais uniquement dans la pression qu'ils reçoivent des objets lumineux & éclairez, & qu'ils leur rendent promptement par leur force centrifuge. Car un tourbillon ne peut se mouvoir en même-temps de tous côtez, mais il peut presser & être pressé de tous côtez en même-temps » (*ibid.*, p. 300).

1 Voir la section ci-dessous concernant les propriétés de la matière subtile.

2 Le premier point valide les différentes affirmations établies ci-dessus avec le modèle d'un « ballon » rempli d'un fluide à chaque partie (« la plus petite sphère ») constitutive de ce fluide. D'après le second le « corps mou », entendre le petit tourbillon, prend tous les « traits » de ce qui le comprime.

L'ultime « preuve » de 1699 se retrouve dans l'explication de la « génération du Feu » où Malebranche se démarque de Descartes¹. Tout d'abord, selon Descartes, « toutes les parties des corps terrestres, de quelques grosseurs ou figure qu'elles soient, prennent la forme du feu, lorsqu'elles sont séparées l'une de l'autre, & tellement environnées de la matière du premier element, qu'elles doivent suivre son cours »². Pour Descartes, le second élément environne la terre et en occupe les pores assez grands pour le recevoir ; ces corps durs « s'entre-touchent & se soutiennent », le premier élément remplissant alors les « recoins » que le second laisse entre eux en se mouvant « extrêmement vite ». Ces petits espaces font qu'il n'existe pas une quantité suffisante de premier élément pour avoir « la force d'emporter » de la matière du troisième élément, à savoir les parties des corps terrestres lesquelles « se soutiennent » mutuellement et sont « soutenuës » par le second élément ; elles ne prennent donc pas la « forme du feu ». Pour que ce feu naisse, il faut que « quelque autre force chasse les parties du second element » de pores des corps afin que « cessant de se soutenir les unes les autres » des parties de matière du troisième élément se trouvent environnées du seul premier élément³. Suit alors l'explication cartésienne du mécanisme de production du feu lorsque qu'avec un fusil on bat un caillou. Ces cailloux sont « durs & roides » – « roides », dans le sens de flexibles – et « cassans » ; en les frappant, plusieurs de leurs « petites parties » s'approchent les unes des autres sans se joindre et le second élément sort de ces intervalles devenus étroits où ne demeure que le premier élément ; puis, « si tost que le coup a cessé » ces parties « tendent à reprendre leur première figure » mais, par ce mouvement, et du fait qu'elles soient cassantes, « la force dont elles tendent ainsi à retourner en leurs places, fait que quelques-unes se separent entierement des autres, au moyen de quoy, ne se trouvant environnées que de la matiere du premier element, elles se convertissent en feu »⁴. Pour Malebranche, qui rapporte cette explication de Descartes, ce ne sont pas des parties du caillou qui se séparent mais plutôt celles du fer du fusil. Quoi qu'il en soit, il évoque sa « peine à comprendre » que, d'une part, la matière subtile puisse « refluer » vers la partie détachée du fer (ou du caillou) puisque ce premier élément est entravé dans son mouvement par des corps durs du second élément qui se touchent et, d'autre part, que ce reflux se produise en quantité suffisante. Seule « une portion très petite de la matière subtile » entre le second élément semble concernée dans cette explication et, estime Malebranche, « la force qui feroit refluer le premier element en pressant le second, n'est pas assez grande, comme il est facile de le prouver »⁵.

L'absence de force des corps au repos apparaît ainsi au fondement du nouveau système des petits tourbillons. Malebranche affirme que sans force la matière se compose de parties « infiniment fluides ou molles » lesquelles n'opposent aucune résistance ; leur conformation en tourbillons assure l'existence d'une force. La nécessité des tourbillons apparaît aussi liée à l'impossibilité d'un mouvement dans un même sens de l'éther, mouvement dont les effets s'avéreraient dévastateurs⁶. Des tourbillons ne peuvent subsister qu'à condition de s'équilibrer mutuellement, qu'il n'existe aucun vide, et qu'une pression extérieure comprime l'ensemble. Ces dernières conditions permettent de rendre compte d'un modèle de

1 Le détail du mécanisme proposé par Malebranche sur la naissance du feu est détaillé dans la suite de ce chapitre dans la section « Les explications physiques ».

2 Descartes, *Principes*, IV, AT IX, art. 80, p. 243.

3 *Ibid.*, art. 81, p. 244.

4 *Ibid.*, art. 84, p. 245-246.

5 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 267. Ce reflux correspond au mouvement du premier élément venant occuper l'espace laissé vacant par le second élément, ce premier élément venant des intervalles entre les corpuscules contigus du second élément environnant. Malebranche n'explique pas plus en quoi cette « force » faisant refluer « n'est pas assez grande », sans doute est-ce dû au fait que dans chez Descartes cette matière n'est pas sous la forme de petits tourbillons et possède ainsi moins de « force » que sous l'hypothèse de l'éther tel que le conçoit Malebranche. Voir Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, « *Commentaire scientifique* », p. 295.

6 Cet argument se rencontre chez Huygens dans sa critique de l'explication de Descartes de la pesanteur : la circulation de l'éther autour de la Terre devrait emporter tous les corps. Voir ci-dessous la partie relative au mécanisme de la pesanteur chez Malebranche.

propagation de la lumière basée sur la transmission d'une pression. Le « principe » se voit aussi justifié par le fait qu'il permet au sein d'une théorie mécanique de lever les difficultés inhérentes au système de Descartes relatives à la propagation simultanée de rayons lumineux.

LES PROPRIETES DE LA MATIERE SUBTILE

Originellement au repos, la matière se présente ainsi comme « infiniment fluïde », molle, elle s'avère indifférente à ce que ses parties soient mues, lesquelles sont alors « aisément » séparables. Elle résiste au sens où elle est impénétrable, comme toute matière, et ce en conséquence que l'étendue en constitue l'essence¹. Dans ses réflexions sur les lois du choc Malebranche évoquait déjà un corps « mol » au point qu'un autre mobile pouvait provoquer une perforation cette dernière relevant du caractère impénétrable de la matière². Si Dieu a créé l'univers « tout d'un coup » et qu'ainsi ce dernier ne s'organise pas au cours du temps par l'effet de certaines lois, n'en demeure pas moins qu'avec une telle matière les lois en question donneraient naissance à ce monde³.

Une fois formés, les tourbillons sont un réceptacle de force. Dans l'*Eclaircissement XVI*, Malebranche évoque alors la « rapidité du mouvement de la matière subtile », son « extrême rapidité » ou encore sa « rapidité effroyable » et sa « vitesse étonnante »⁴, qu'il illustre par les effets du « tonnerre » ou de « la poudre à canon » (*ibid.*, p. 270 et p. 272-273). Il fait des conjectures sur la petitesse et la vitesse de ces tourbillons essentiellement afin de « donner quelque idée de [leur] excessive force centrifuge » (*ibid.*, p. 275). Ainsi il écrit, « par exemple », que « plusieurs millions des diamètres de ces tourbillons » pourraient égaler « à peine une ligne de longueur » et qu'il faut bien qu'ils soient « très-petits » puisqu'ils traversent les pores du verre pour transmettre la lumière ou encore ceux de l'acier (*ibid.*, p. 273). L'application de la relation $\frac{v^2}{R}$ aux petits tourbillons conduit à « une quantité de force centrifuge pour ainsi dire infiniment grande par rapport aux autres forces de même nature » (*ibid.*)⁵.

Une telle force rend tout à la fois concevable la grande dureté de certains corps et le « ressort » d'autres. Les petits tourbillons compriment « les parties des corps grossiers les unes contre les autres, lorsque les parties de ces corps se touchent immédiatement : Et par là ils les rendent durs, de manière que pour briser ces corps, ou en séparer les parties, il faut employer une force, c'est-à-dire un mouvement, (car la force des corps n'est que leur

1 Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 325 : la considération des propriétés de l'étendue conduit à l'impénétrabilité « car il y a contradiction que deux pieds d'étendue n'en fassent qu'un ».

2 Voir sur ce point et sur l'impénétrabilité la Partie I, Chapitre II.

3 La possibilité de former les tourbillons et cet univers avec une telle matière donne lieu à des critiques dans les années 1730 et 1740. Voir Partie II, Chapitre V.

4 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 270 et p. 273.

5 Malebranche compare la force centrifuge « d'un point physic d'un petit tourbillon » pour s'éloigner de son centre à celle « qu'a une semblable partie de la terre » lors de sa révolution autour du Soleil. Il approxime tout d'abord la vitesse de ces deux points, le premier se mouvant « dix fois » plus rapidement qu'un boulet de canon (« c'est assurément diminuer de beaucoup la vitesse de l'éther »), le second avec « mille fois plus de vitesse » que ce projectile (« c'est peut-être en augmenter le mouvement ») ; le rapport de ces deux quantités conduit à un facteur 100. Il en vient ensuite aux diamètres des tourbillons. Celui de la Terre vaut 20000 fois le diamètre terrestre égal à environ 6000000 toises. Pour les petits tourbillons Malebranche suppose que « chaque toise contient au moins autant de pores ou de petits tourbillons » soit « qu'une toise contient seulement 6.000.000 fois le diamètre d'un petit tourbillon » ; « seulement », car les observations aux microscopes montrent la petitesse des organes et des germes dont ils naissent, organes ne recevant « leur figure & leur diverse consistance » que par « la pression des petits tourbillons ». Il serait ainsi possible de diminuer encore « de plusieurs millions de millions les diamètres des petits tourbillons » jusqu'à « leur donner une petitesse indéfinie, ce qui augmenterait leur force centrifuge à l'infini ». Dès lors le rapport des diamètres donnant 720.10^{15} et celui des vitesses un facteur 100, il s'ensuit qu'« on aura 72000.000.000.000 pour la force centrifuge d'un point physic du petit tourbillon, qui sera à celle d'un point physic du grand, comme ce nombre est à l'unité ». Ce calcul « peu exact » et résultant d'estimations tendant à minimiser cette force (ainsi des vitesses de révolution, de la taille du diamètre terrestre, du nombre de tourbillons) donne une « idée » de « l'excessive force centrifuge ». *Ibid.*, p. 273-275.

mouvement) qui puisse vaincre la force centrifuge de ces tourbillons, qui compriment entre elles les parties des corps durs ». Avec une force d'une telle grandeur, « on cessera peut-être d'être surpris de la dureté du diamant, qui certainement ne peut être que l'effet de la compression de l'éther, ainsi que je l'ai prouvé de la dureté de tous les corps » dans le Chapitre IX du Livre VI. Par ailleurs, « une épée ne résiste lorsqu'on la ploye, & ne fait ressort pour se redresser, que parce que les petits tourbillons de l'éther, qui sont dans ses pores, n'ont pas la liberté de faire leur mouvement circulaire, la courbure de l'épée changeant nécessairement en elliptique la figure ronde des pores, où ils sont contraints de circuler » (*ibid.*, p. 272-273). Comme l'écrit Malebranche dans le Chapitre IX, puisque la dureté et la flexibilité ne diffèrent que par degrés, grâce à l'action de ces forces centrifuges « il n'y aucun corps dur qui ne fasse quelque peu de ressort »¹.

Par leur action, les petits tourbillons rendent aussi des corps fluides. En effet, « ils environnent & compriment de tous côtés les petites parties dont les corps fluides sont composés », cette pression leur conférant « figure » et « consistance », « mais encore ils les tiennent séparées, & les font glisser les unes sur les autres, en quoi consiste leur fluidité »². Le caractère « infiniment fluide » conféré à la matière au repos vaut aussi pour l'éther en tourbillons, car ceux-ci peuvent « couler entr'eux, & tout cela avec une rapidité extraordinaire » et ils forment alors une « matière infiniment fluide, & [...] extrêmement comprimée » (*ibid.*, p. 255-256). Aussi, si les parties constitutives des fluides sensibles peuvent offrir des difficultés à être séparées, ceci ne concerne pas les tourbillons d'éther entre eux³. Par ailleurs, Malebranche précise que « la matière éthérée étant composée de petits tourbillons en équilibre, & d'une petitesse & fluidité extrême, on ne doit point sentir qu'elle fasse de résistance dans le mouvement horizontal ». Sur le même sujet, il ajoute que « la source du mouvement n'est que dans cette matière invisible, que quelques personnes tres-sçavantes d'ailleurs, comptent pour rien ; ou ne regardent, lorsqu'elle est en équilibre, & ne se fait point sentir que comme une matière inefficace & sans action » (*ibid.*, p. 303). L'équilibre et l'infinie fluidité sont alors les gages de l'absence de résistance du milieu, qui outre cette propriété et cette fluidité, se caractérise par sa « force » due aux petits tourbillons laquelle doit répondre à celle « infinie ou comme infinie » de compression globale du système⁴.

LE « PRINCIPE GENERAL DE LA PHYSIQUE »

Par la rédaction de l'*Eclaircissement XVI*, Malebranche entend montrer que

toute la Physique dépend de la connoissance de la matière subtile ; que cette matière n'est composée que de petits tourbillons, qui par l'équilibre de leurs forces centrifuges, font la consistance de tous les corps ; & par la rupture de leur équilibre qu'ils tendent sans cesse à rétablir, tous les changemens qui arrivent dans le monde. Ma principale vûë a été de prouver que le repos n'a point de force ; que tout se fait par le mouvement, & que la source du mouvement n'est que dans cette matière invisible (*ibid.*, p. 302-303).

Ces situations de « rupture » devront alors rendre compte des phénomènes régis par cette « Loy generale & la plus simple qu'on puisse concevoir, que tout corps soit mû du côté vers lequel il est plus pressé, & à proportion qu'il l'est d'avantage » (*ibid.*, p. 304)⁵, laquelle trouve

1 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 446.

2 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 275.

3 Ainsi, concernant les « petites parties » constitutives d'un fluide, Malebranche écrit qu'« elles sont aussi environnées d'air, & qu'elles sont pesantes, elles glissent entre elles sans se séparer qu'avec quelque temps ». *Ibid.*, p. 275

4 Ce lien entre équilibre et absence de résistance figure notamment chez Mazière qui adopte la théorie des petits tourbillons. En somme, lorsque deux forces s'équilibrent sur une balance, c'est comme si elles n'existaient pas, le moindre effort suffisant à mettre le système en mouvement. Voir Partie II, Chapitre II.

5 Il s'agit plutôt d'un mouvement vers l'endroit où le corps est le moins pressé, tout le reste de l'*Eclaircissement XVI* en témoigne, notamment l'explication de la pesanteur terrestre reposant sur le fait que « tout corps [va] du côté vers lequel il est moins pressé », p. 270.

sa raison d'être par l'équilibre qui prévaut dans l'univers, équilibre que par ailleurs cette loi permet de retrouver : « tout corps moins pressé d'un côté que d'un autre, se meut jusqu'à ce qu'il le soit également de tous côtés » (*ibid.*, p. 280). Concernant cet équilibre global du système, le mouvement de la matière originelle conduit à la formation des petits tourbillons dont l'équilibre s'avère indispensable à l'idée d'un espace où s'opère sans altération la transmission de la lumière et des couleurs. Par ailleurs, comme souligné, cette force de l'éther, canalisée par une mise en petits tourbillons qui se « contrebalancent », eux-mêmes englobés dans de plus grands soumis aussi à un équilibre, requiert une « force infinie » ou « comme infinie » de nature métaphysique sans la pression au sein de l'univers ne saurait se maintenir. Cette « supposition » d'un éther équilibré et constitué de petits tourbillons fonde « le vrai principe de la physique générale dont dépendent les effets particuliers » (*ibid.*, p. 270).

Chez Malebranche, le mécanisme explicatif d'un phénomène repose en général sur trois étapes : 1/ un équilibre global régit le monde ; 2/ un élément perturbateur entraîne une « rupture de [l'] équilibre » des petits tourbillons ; 3/ cette rupture est l'amorce d'une action des petits tourbillons, l'explication physique étant guidée par la finalité du retour à la situation d'équilibre d'origine. La « Loy generale » s'interprète comme un différentiel de pressions qui assigne un sens, une direction et une grandeur à l'objet qui la subit. Elle reçoit aussi l'appellation « principe general de la Physique » stipulant que « tout corps moins pressé d'un côté que d'un autre, se meut jusqu'à ce qu'il le soit également de tous côtés », principe qui entraîne que « toutes les parties de l'univers sont en équilibre ou tendent à s'y mettre » (*ibid.*, p. 280 et p. 305), ou encore l'appellation de « loy naturelle » selon laquelle « tout corps se meut vers le côté qu'il est moins pressé » (*ibid.*, p. 295)¹. Au fondement d'une telle maxime se trouve

la sagesse infinie du Créateur, qui dans la création de l'Univers, a tellement distribué & déterminé le mouvement aux diverses portions de la matière, qu'il en a formé un ouvrage dont toutes les parties ont entr'elles une dépendance mutuelle ; un ouvrage qui se conserve & se renouvelle sans cesse uniquement par cette Loy generale & la plus simple qu'on puisse concevoir, que tout corps soit mû du côté vers lequel il est plus pressé, & à proportion qu'il l'est d'avantage [...] Loy qu'a faite & qu'observe exactement le Tout-Puissant dans le cours ordinaire de sa providence generale sur l'arrangement des corps ; non seulement pour faire porter à sa conduite le caractère de ses attributs, dans lesquels il trouvent sa Loy & ses motifs [...] mais encore pour donner aux hommes & aux animaux mêmes des règles certaines pour se conserver & pour se conduire (*ibid.*, p. 304).

Cette loi ne tire pas son efficacité de la matière, « substance purement passive » et dont la force la mouvante « n'est rien qui lui appartienne & qui soit en elle », mais du Créateur dont la sagesse implique une généralité, une uniformité et une simplicité d'action à laquelle Il se conforme². Le système résulte ainsi d'une économie générale dans le mode d'action du Dieu

1 Malebranche donne aussi l'appellation de « loi naturelle » à cette maxime : « un corps ne peut être mû que par celui qui le touche », *ibid.*, p. 276-277. Un énoncé qui fait figure d'évidence (« il est évident qu'un corps n'est mû que parce qu'il est poussé, & qu'il ne peut l'être que par celui qui le touche immédiatement », *ibid.*, p. 270) ; une « poussée » s'interprétant dans le système par une rupture d'équilibre à l'issue de laquelle « tout corps [va] du côté vers lequel il est moins pressé », *ibid.*, p. 270.

2 Cette uniformité apparaît comme une source possible de la connaissance scientifique. Si Dieu ne suivait pas « régulièrement » cette loi, il agirait comme « les causes particulières & les intelligences bornées » et alors « il n'y auroit rien de certain dans la Physique, nul principe d'expérience ; en un mot tout retomberoit à notre égard, dans un cahos, où l'on ne pourroit rien comprendre », *ibid.*, p. 304. Concernant la généralité et l'uniformité d'action, « Dieu doit toujours agir en Dieu, & [...] ses attributs demandent qu'il agisse ordinairement d'une manière uniforme, & par des Loix generales, sans quoi même il n'y auroit point d'ordre réglé dans la nature ni de certitude dans la physique », Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVII*, p. 327, voir aussi p. 346.

en même temps que la loi se caractérise par sa simplicité ; le propos se voit ici associé à l'occasionalisme et conduit à un discours de nature apologétique¹.

Cette simplicité fondant dans l'« abrégé » le mouvement en ligne droite semble justifier un principe qui, selon Robinet, « supplante entièrement l'appel au mouvement en ligne droite » : « la ligne directe est maintenant nécessitée par la force de la compression qui n'en autorise pas d'autre » et « la ligne droite [est] le résultat d'un mouvement impossible autrement, et non plus l'élément géométrique décisif qu'il allait falloir modifier en son cours pour expliquer la formation de l'Univers »². Malgré tout, l'existence même des forces centrifuges des petits comme des grands tourbillons paraît déterminée par des trajectoires rectilignes. Descartes définit un effort pour « s'éloigner du centre » qui vient en réaction à l'empêchement d'un mouvement rectiligne³ ; la force centrifuge chez Malebranche a aussi fonction de résistance. En effet, Malebranche écrit que « la vraie pesanteur des Planetes & des couches sphériques, celle qui les pousse vers le centre du tourbillon, celle qui les contraint de circuler, celle enfin à laquelle elles résistent par la force centrifuge qui naît de leur vitesse, ne vient point du centre du tourbillon mais de la compression extérieure »⁴. Par ailleurs, la démonstration de Malebranche de la quantification de cette force passe par la mention d'un « effort » radial survenant par l'empêchement d'un autre tangentiel : un corps attaché à un fil en rotation « fait effort contre le fil, à cause qu'il tend à s'échapper selon la tangente [...] On en convient en Physique, & l'on appelle cet effort : *Force centrifuge* »⁵.

L'empêchement de l'état inertiel ne survient que par la présence d'un autre corps et donne naissance à une action. Selon Malebranche, d'après les *Entretiens sur la métaphysique*, Dieu « a voulu, & veut encore maintenant que tout corps mù se meuve, ou tende à se mouvoir en ligne droite ; & qu'à la rencontre des autres corps, il ne s'éloigne de la ligne droite le moins qu'il est possible. Que tout corps se transporte du côté vers lequel il est poussé : & s'il est poussé en même temps par deux mouvemens contraires, que le plus grand mouvement l'emporte sur le plus faible »⁶. Dans la genèse de son système, il recourt au plein, à la fluidité, à la compression infinie, et évoque les parties de la matière subtile qui « se résistant réciproquement par leurs mouvemens divers & particuliers [...] se divisent sans cesse, & forment de petits tourbillons »⁷. La mise en parallèle de cette dernière citation avec l'évocation du mouvement ou de la tendance rectiligne dans l'extrait des *Entretiens*, ainsi que la publication à des dates proches de ces ouvrages, suggère que les « mouvemens divers & particuliers » primordiaux d'où résultent les tourbillons soient rectilignes, direction répondant, au demeurant, à une simplicité d'action évoquée de nombreuses fois dans l'« abrégé ».

A partir de la révision des règles du choc, le mouvement rectiligne, celui du centre de gravité d'un système, garde une importance considérable en tant qu'il « porte [...] le caractère des attributs divins » :

1 En suivant exactement cette loi, Dieu produit « la lumière par laquelle il nous unit, non seulement entre nous, mais encore à des espaces immenses ». Sans lumière, autrement dit, sans l'équilibre des petits tourbillons, il n'existe ni « de société parmi les hommes », ni « cette variété de couleurs qui nous fait discerner les objets » ; « la terre ne sera plus cultivée, & quoique cultivée, elle ne produira rien, par le défaut de cette chaleur qui suit de la lumière ou des vibrations de ses rayons ». Le discours se poursuit sur le rapport « si juste & si sagement proportionné » entre les parties constitutives de l'œil et l'action de la lumière. Enfin, « si l'on fait de même quelques réflexions sur les utilitez du Soleil, du Feu, de la pesanteur des corps de leurs diverses duretez & fluiditez, qualitez necessaires à la formation & à la generation de toutes choses, & que tout cela dépend de la force mouvante par laquelle Dieu anime, pour ainsi dire la matière, par rapport à une infinité de desseins qu'il exécute par une même Loy ; on comprendre sans peine, que la sagesse du Créateur n'a point de bornes ». Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 304-305.

2 Robinet, *Malebranche de l'Académie*, p. 209-210.

3 Voir Partie I, Chapitre I.

4 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 283.

5 Malebranche, RDV, *Addition à l'Eclaircissement XVI*, p. 349 (6^e éd. seulement).

6 Malebranche, *Entretiens sur la métaphysique* (éd. de 1711), OCM XII, p. 243.

7 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 271.

Dieu conserve toujours dans l'Univers une égale quantité de mouvement [...] le mouvement de tous les corps en general est toujours le même ; tout demeure, pour ainsi dire, dans un parfait et immuable équilibre. Il est clair que Dieu agit toujours de la même manière ; avec uniformité, une parfaite simplicité puisqu'il observe sans cesse cette loi dans les chocs infinis des corps, que leur centre de pesanteur [le centre de gravité du système] en repos, ou se meuve toujours nonobstant le choc avec la même vitesse ; & par conséquent qu'il y ait dans toutes les parties de l'Univers prises ensemble le même mouvement ou la même force, nonobstant les mouvemens variables de corps particuliers nécessaires pour perfectionner l'Univers, & pour exprimer la sagesse & les autres attributs du Créateur¹.

Au demeurant de nombreux passages évoquent à nouveau ce caractère essentiel conféré au mouvement rectiligne, ne serait-ce que l'*Eclaircissement XV* de 1712 : « ayant résolu de produire par les voyes les plus simples, comme plus conformes à l'ordre immuable de ses attributs, cette variété infinie de créatures que nous admirons, il a voulu que les corps se mûssent en ligne droite, parce que cette ligne est la plus simple ». Le texte se poursuit en énonçant les « deux lois naturelles qui sont les plus simples de toutes ; savoir, que tout mouvement se fasse ou tende à se faire en ligne droite, & que dans le choc les mouvemens se communiquent à proportion, & selon la ligne de leur pression, suffisent, les premiers mouvemens étant sagement distribués, pour produire le monde tel que nous le voyons ». Malebranche ajoute que par cette première loi « Dieu veut positivement, & fait par conséquent le choc des corps », et qu'« ensuite » ce choc « l'oblige à varier son action, à cause que les corps sont impénétrables, comme d'une occasion pour établir la seconde loi naturelle, qui règle la communication des mouvemens »². La tendance rectiligne conçue comme première loi associée à l'impénétrabilité qui produit le choc, et cette seconde loi de communication des mouvements conduisent à « une infinité d'effets admirables »³. Ce mouvement et cette impénétrabilité sont alors aussi ceux de la matière originelle qui par ses « mouvemens divers & particuliers » qui « se résistent réciproquement » (à cause de l'impénétrabilité de la matière) donnent naissance aux petits tourbillons et à l'ensemble du monde.

Au-delà du caractère fondamental sinon primordial de cette tendance rectiligne, l'*explication* des phénomènes dans l'*Eclaircissement XVI* ne repose que sur l'équilibre et la rupture d'équilibre des forces centrifuges des petits tourbillons. Malebranche ne considère pas la tendance inertielle et la force ou la résistance qui lui est adjointe comme l'instrument d'où se déduit un mécanisme à l'instar de ce qui se rencontre dans les *Principes* de Descartes ; à cette époque « on n'étoit point entré dans le secret des forces *centrifuges* »⁴.

LES EXPLICATIONS PHYSIQUES

Lorsque Malebranche livre « *l'explication des effets les plus généraux de la Physique* », il s'agit de donner des « preuves » de sa « supposition » d'un univers plein où s'équilibre des petits tourbillons⁵. Les « effets » en question concernent la pesanteur, la mécanique céleste, les lois de réflexions et réfraction de la lumière⁶. Ces thèmes n'apparaissent que dans l'édition de 1712 et il faut leur adjoindre comme « preuves » supplémentaires l'origine de la dureté et de la fluidité déjà évoquées ci-dessus, ainsi que des analyses sur la formation du feu⁷. La « Loy generale » et la rupture d'équilibre entre petits tourbillons sont au fondement des différents mécanismes.

1 Malebranche, *Des loix*, dans OCM XVII-1, p. 75 (5^e et 6^e éd.).

2 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XV*, p. 217-218.

3 *Ibid.*, p. 217.

4 Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 669.

5 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 270 et p. 304.

6 Pour une liste d'études consacrées à ces différents points, nous renvoyons à l'« Introduction générale » de ce livre.

7 Pour la dureté, voir Partie I, Chapitre II. Pour le feu, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie des Sciences*, p. 249-256.

Si cette « Loy » n'apparaît que dans l'*Eclaircissement XVI* de 1712, dans le mécanisme de la naissance du feu, la rupture d'équilibre des petits tourbillons joue déjà le rôle essentiel dans le contenu du Mémoire de 1699 et de l'édition de 1700. Après l'évocation des limites de la théorie de Descartes (voir *supra*), Malebranche développe son explication en s'attachant au phénomène dans le vide et en présence d'air.

Tout d'abord « bien que l'air ne soit pas nécessaire pour exciter quelque petite étincelle de feu », ce dernier s'éteint cependant aussitôt en son absence et ne peut pas se « communiquer »¹. Ainsi, dans le vide, si « on bat le fusil » dans le vide, « cette petite partie [du fer arraché] pirouétant, & frappant promptement sur quelques petits tourbillons du second élément, qui se contrebalancent tous nécessairement les uns les autres, rompt aisément leur équilibre ; car il ne faut pour le rompre que très peu de force ». Par cette rupture de petits tourbillons, autrement dit localement par une rupture d'équilibre, la matière subtile cesse de se mouvoir sous cette forme et ceci « détermine » les « parties » de ces tourbillons (entendre la matière subtile qui les constitue) à « environner » le fer, à « l'agiter » et à « le mettre en feu ». L'éther, « après avoir eu en un instant quantité de mouvement irréguliers, se remet promptement en partie en de nouveaux tourbillons » à cause de « la résistance qu'[il] trouve à son mouvement », et « en partie s'échappe entre les intervalles des tourbillons environnans », intervalles qui sont devenus plus grands au voisinage du morceau de fer détaché, des tourbillons s'approchant aussi simultanément de ce fer. Bien que non explicité, ces différents mouvements s'interprètent par des différences de pressions causées par la rupture des tourbillons : la matière ainsi créée se reforme en tourbillons ou s'échappe tandis que les tourbillons voisins refluent vers la zone de moindre pression. Finalement, ces tourbillons reformés et ceux qui migrent vers le fer ne sont pas rompus, ceci à cause de « la partie arrondie du fer » ou « à peu près cylindrique » qui bien qu'en mouvement, ne « choque plus les tourbillons environnans d'une manière propre à les rompre » ; tout ce processus ne prend qu'« un instant », le corps ne s'enflamme pas, et « l'étincelle [...] n'est presque pas visible, & ne dure pas ».

A contrario, dans l'air, il existe suffisamment de tourbillons rompus pour que le feu naisse et perdure. Comme précédemment, le fer « rencontre & ébranle » des petits tourbillons jusqu'à les rompre, mais il agit aussi sur « beaucoup » de parties de l'air « qui étant branchuës rencontrent, & rompent par conséquent par leur mouvement beaucoup plus de tourbillons que la petite partie seule du fer ». La matière subtile environnant l'air et le fer « leur donne assez de divers mouvemens pour repousser fortement les autres tourbillons, & exciter en nous un sentiment vif de lumière ». Ce supplément de matière (l'air) et sa forme spécifique (des parties « branchuës ») entraînent davantage de ruptures de petits tourbillons et, cette fois-ci, des petits tourbillons ne refluent pas comme précédemment vers le fer mais se voient repoussés. Ces poussées et les vibrations qu'elles produisent dans l'éther correspondent à la nature même de la lumière (voir *supra*), et s'explique ainsi que les étincelles apparaissent « bien plus éclatantes » que dans le vide. Par ailleurs, la plus grande quantité de « divers mouvemens » produits en comparaison du mécanisme décrit dans le vide justifie la durée du feu (*ibid.*, p. 268-269).

1 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 268. Manifestement, Malebranche s'appuie notamment sur des expériences de Denis Papin consistant en l'inflammation de la poudre placée dans « la machine du vuide » par des rayons solaires. Quelques lignes plus loin, Malebranche note que « lors qu'on débande un pistolet bien amorcé dans la machine du vuide, l'expérience apprend que faute d'air l'amorce ne prend point feu, & qu'il est même très difficile d'en remarquer quelque étincelle ». Voir Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, « Commentaire scientifique », p. 395 et « Notes de l'éditeur », p. 378.

L'inflammation de la poudre illustre cette mise en mouvement/feu par une rupture de petits tourbillons. Tout d'abord « les tourbillons [...] qui sont mêlez avec la poudre du canon, & qui l'environnent, étant en équilibre entr'eux, ils n'y causent aucun changement : Ils en compriment les parties bien loin de les mouvoir & de les séparer ». Ensuite, « lorsque le feu y est mis, c'est à dire lorsque l'équilibre des tourbillons a été rompu, & que les parties de la poudre sont enveloppées & nagent dans les cours ou petits torrents nouveaux de la matière de plusieurs tourbillons rompus [...] alors ces parties de la poudre en reçoivent quelque peu de leur mouvement » dont elles communiquent une partie au boulet. Quelques lignes plus loin, Malebranche mentionne des « petits torrents de la matière subtile [...] variez en tous sens » et qui peuvent « se résist[er] mutuellement » (*ibid.*, p. 272).

Le mécanisme de formation du feu repose ainsi sur des ruptures de tourbillons et donc d'équilibre. Dans le vide, la matière que délivre une telle rupture se reforme en partie en tourbillons et s'échappe en partie, mais elle ne possède pas suffisamment de mouvement pour repousser les tourbillons qui refluent vers le fer ; en somme, le phénomène produit un déséquilibre instantané suivi par un retour à l'équilibre, la matière des tourbillons rompus ne pouvant pas repousser les petits tourbillons voisins. L'air contribue à la rupture et à la production d'un mouvement suffisant pour « repousser fortement » ces petits tourbillons et causer ainsi des vibrations dans l'éther. Le mécanisme renferme des points communs avec celui de Descartes. Se retrouve cette conception du feu comme une « forme » prise par les corps sensibles du fait du mouvement et d'une quantité suffisante d'éther. Puis, pour Descartes, l'obtention d'un feu requiert de « chasse[r] » le second élément du voisinage du corps enflammé et d'« empêcher » cet élément de migrer vers le feu sinon il l'éteint ; le premier élément peut enflammer les corps lorsqu'il occupe les places laissées vacantes par le second¹. Chez Malebranche, l'éther rompu en quantité suffisante repousse les petits tourbillons et la migration de ces derniers vers le corps mobile signifie un retour à l'équilibre et l'absence de feu. Pour Malebranche, une unique matière cause l'inflammation ou l'extinction, seules les diversités de ses mouvements – en tourbillons ou non – rend compte de ces deux circonstances ; Malebranche estime alors résoudre la difficulté du mécanisme de Descartes nécessitant le premier élément en abondance. La rupture d'un équilibre initial est alors la condition *sine qua non* pour obtenir le mouvement et la quantité d'éther nécessaires.

Malebranche évoque aussi les « effets du tonnerre » sans pour autant expliciter le mécanisme du phénomène. Par ailleurs, il souligne que l'explication donnée pour « la génération du feu » permet de comprendre « comment en mêlant ensemble divers liqueurs, il se fait des fermentations fort différentes » : « les acides se mêlant avec les alcalis, ils rompent plus ou moins de petits tourbillons, & par conséquent ils causent des mouvemens ou des fermentations plus ou moins grandes ». Le phénomène ressortit donc du même principe de ruptures de petits tourbillons sans que Malebranche ne développe davantage. Il ajoute même que « les raisons particulieres de chaque fermentation ne se peuvent clairement expliquer » et conclut ces propos sur la chimie en écrivant qu'il s'agit là de « conjectures »². Un autre passage de *De la recherche* évoque l'« effervescence prompte & violente [...] de certaines liqueurs remplies de sels Alkalis, lorsqu'on les mêle avec celles qui sont roides ou pleines de sel acide », ce « roide » spécifiant probablement la nature des particules constitutives des solutions acides³.

1 Descartes, *Principes*, IV, art. 81 et 82 p. 244-245.

2 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 272. A partir des années 1720, le feu, le tonnerre et les réactions chimiques donneront lieu à de nombreux mécanismes élaborés à l'aide des petits tourbillons. Voir Partie II, Chapitre III.

3 Malebranche, RDV, VI, II, VIII, p. 408. Malebranche ne donne aucun détail sur le mécanisme de cette réaction. Les « sels » d'après l'« abrégé » se composent de « parties longues [...] grosses & inflexibles » les faisant « piquans, incorruptibles, faciles à dissoudre ». Ces parties « roides » pourraient correspondre aux « pointes » communément assimilées aux parties des acides expliquant alors que ces derniers puissent « rompre » les tourbillons comme l'écrit

La pesanteur des corps terrestres

Avant de livrer son mécanisme de la pesanteur, Malebranche se dissocie de « plusieurs Philosophes [qui] n'ayant pas bien pris le sentiment de M. Descartes, ou plutôt l'ayant pris dans ses lettres qu'on a publiées après sa mort, au lieu de le lire dans ses *Principes de Philosophie*, qu'il a publiés de son vivant, attribuent la pesanteur des corps à la force centrifuge que la matière subtile tire de son mouvement circulaire autour de la terre »¹.

Parmi les « Philosophes » visés par Malebranche figurent manifestement Huygens et Saurin. Le premier cite des lettres de Descartes qui rapportent des expériences devant confirmer que la pesanteur des corps résulte du mouvement circulaire de la matière subtile². Huygens récuse une telle explication et estime erronées les interprétations des expériences évoquées par Descartes. Ainsi, Descartes suppose un « vaisseau » rempli de « dragées de plomb », y place « quelques pièces de bois », fait tourner l'ensemble et conclut que ce bois se rapproche du centre de rotation. Huygens juge que ceci « n'est nullement propre à représenter l'effet de la pesanteur » car cela revient à signifier que les corps « qui contiennent le moins de matière, sont ceux qui pesent le plus ce qui est contraire à ce qui s'observe dans la véritable pesanteur ». Au demeurant, reprenant lui-même un dispositif semblable avec un vaisseau rempli d'eau contenant de la « cire d'Espagne concassée », celle-ci circule avec la même vitesse que le liquide mis en rotation, contrairement à ce que prétend Descartes, et elle ne rejoint le centre seulement une fois le mouvement interrompu³. Pour sa part, contrairement à Huygens, Saurin soutient une explication de la pesanteur fondée sur cette circulation de l'éther⁴.

Dans ses *Principes*, Descartes écrit que le second élément environnant la terre tend à s'éloigner de son centre ; les parties du second élément possèdent « pareille force » et « elles ne se chassent donc point l'une l'autre hors de leurs places ». Mais « la mesme force n'est pas en la Terre » et « lors qu'il se trouve quelqu'une de ses parties plus éloignée de son centre que ne sont les parties du Ciel qui peuvent monter en sa place, il est certain qu'elles y doivent monter, & par consequent la faire descendre en la leur ». Le corps pesant est poussé « seulement par les parties de cette matière qui montent en sa place lors qu'il descend » : « un corps terrestre dont les parties ... soient plus serrées que celles de l'air qui l'environne, en sorte que ses pores ... contiennent moins de matière du Ciel que ceux de la portion de cet air qui doit monter en sa place en cas qu'il descende, il est évident que ... ce qu'il y a de plus de matière du Ciel en cette portion d'air qu'en ce corps [...] tendant à s'éloigner du centre de la Terre, a la force de faire qu'il s'en approche »⁵. Ce dernier passage insiste sur la comparaison entre la quantité de « matière du Ciel » comprise dans le corps et un volume équivalent d'air et sur leurs efforts respectifs ; comparaison à l'œuvre dans l'explication de Malebranche comme nous le verrons ci-dessous⁶.

Malebranche. Sur les formes attribuées aux acides et alkalis au tournant des XVII^e et XVIII^e siècles et les réactions produites, voir Partie II, Chapitre III.

1 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 276.

2 Voir Huygens, *Traité de la lumière*, p. 133-135. Voir Descartes, Lettres à Mersenne du 16 octobre 1639, AT II, p. 587 et du 30 juillet 1640, AT III, 134-135.

3 Huygens, *Traité de la lumière*, p. 132-133.

4 Saurin, *Examen d'une difficulté considérable proposée par M. Hughens contre le Système Cartésien sur la cause de la Pesanteur*, MARS 1709 (1723), p. 131-148.

5 Descartes, *Principes*, IV, AT IX, art. 23, p. 211-212.

6 Pour autant, la tendance évoquée par Descartes résulte bien du mouvement circulaire du second élément, tendance que Malebranche entend remplacer par le seul effort issu de la rotation des petits tourbillons.

Malebranche ajoute que, comme le soulignent « ceux mêmes qui sont de ce sentiment [à savoir ceux, comme Huygens, qui pensent que pour Descartes la gravité résulte de la circulation de l'éther] ou qui le veulent soutenir [par exemple, Saurin] », il faudrait que « cette matière subtile tournât environ dix-sept fois aussi vite que la terre »¹. En effet, selon Huygens, en supposant que la matière subtile tourne toute dans le même sens que la Terre et avec davantage de vitesse, « ce mouvement rapide [...] se feroit sentir, & [...] elle emporteroit avec elle les corps qui sont sur la Terre » ; il calcule alors que la matière subtile contiguë à la Terre doit se mouvoir 17 fois plus vite que cette dernière². Pour sa part, Saurin trouve un résultat semblable mais, contrairement à Huygens, expliquant la pesanteur par la révolution de l'éther, il cherche « les causes qui peuvent contribuer à rendre insensible l'effort de la matière céleste »³. Il évoque alors notamment la « densité » de ce fluide « d'autant plus facile à diviser que ses particules sont moins serrées », l'« inégalité » de leurs surfaces et de leurs figures contribuant aussi au degré de séparabilité qui implique par conséquent « dans la force du choc, de grandes différences » (*ibid.*, p. 140) ; la « subtilité » de cette matière impliquant une facilité de passage par les pores des corps et donc moins d'action sur ceux-ci que ne le ferait un autre fluide composé de particules plus « grossières » (*ibid.*, p. 141) ; la « tissure » des corps qui « est peut-être infiniment plus rare qu'on ne pense » (*ibid.*) ; par ailleurs, « chaque particule [de la matière subtile] pouvant se diviser, & se divisant à l'infini, selon les besoins, & avec la dernière facilité, elles s'accoutument sans peine à toute sorte de places », ce qui diminue « infiniment dans le fluide la résistance au déplacement, & qui affoiblit d'autant son effort » (*ibid.*, p. 143).

Malebranche, qui suit manifestement Huygens et s'oppose à Saurin, estime qu'il y a « une contradiction manifeste » à ce qu'une telle circulation ne puisse pas affecter « la direction perpendiculaire de la chute d'une plume » ou encore causer « la moindre résistance à un homme qui se promeneroit à contre-sens de son mouvement, quoi qu'elle fasse beaucoup de résistance à l'effort que l'on fait pour s'élever de terre »⁴. Tout au contraire, des corps dans un fluide en reçoivent l'impression et se meuvent après quelque temps presque aussi vite que lui⁵. Tout en rejetant cette explication par la circulation de l'éther, Malebranche réfute aussi ceux qui soutiennent qu'un tel mouvement devrait causer la chute des corps pesants selon une direction perpendiculaire à l'axe de rotation et non vers le centre de la Terre et juge qu'« on a répondu avec beaucoup d'esprit & de subtilité » à cette objection⁶. Cette fois-ci, il semble s'opposer à Huygens pour lequel si l'éther avait un mouvement circulaire autour de l'axe de la Terre il ne ferait pas chuter selon une direction radiale mais orthogonale à cet axe⁷. Saurin critique Huygens sur ce point et juge que « le tourbillon que l'on suppose sphérique [autour de la Terre], est tel par la réaction de la matière environnante (quelle que soit d'ailleurs cette matière ;) il faut donc le concevoir comme extérieurement pressé, & pressé également de toutes parts suivant des lignes droites qui vont au centre »⁸.

1 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 276.

2 Huygens, *Traité de la lumière*, p. 142-143. Huygens s'appuie sur la relation entre période et longueur d'un pendule simple et sur la valeur du rayon terrestre déterminé à l'aide de la mesure de la longueur d'un degré de méridien de l'abbé Picard en 1671.

3 Saurin, *Examen d'une difficulté*, p. 143-144.

4 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 276. Si le fluide ne modifie pas la direction de la plume, « les corps, jetez en haut ne devoient pas retomber, la matière subtile pouvant passer au travers sans les repousser ».

5 Sous peine que la génération du feu, les effets du tonnerre et de la poudre « seroient miraculeux ou surnaturels » car alors, cette dernière qui pousse le boulet « seroit muë sans être poussée par le cours de la matière subtile, laquelle est le seul corps extrêmement mù qui touche immédiatement la poudre ; ce qui est contre la loi naturelle, qu'un corps ne peut être mù que par celui qui le touche ». Par ailleurs, si Dieu n'avait pas créé les planètes en mouvement mais seulement l'éther environnant, elles auraient fini par acquérir les mouvements qu'on leur observe. *Ibid.*, p. 276-277.

6 *Ibid.*, p. 277.

7 Huygens, *Traité de la lumière*, p. 134-135.

8 Saurin, *Solution de la principale difficulté proposée par M. Hugen, contre le Systeme de M. Descartes, sur la cause de la pesanteur*, *Le Journal des Savans pour l'Année M.DCCIII*, Paris, Jean Cusson Janvier 1703, p. 26.

Dans son explication de la pesanteur, l'effort de Malebranche va consister à fonder le mécanisme de la pesanteur non sur la circulation de l'éther autour de la terre, mais en portant son « attention à la force centrifuge des petits tourbillons qui se pressent & se contrebalancent de tous côtez »¹. En supposant une pierre *P* dans l'atmosphère terrestre (Fig. 7), les petits tourbillons des couches au-delà de la ligne *CD* s'équilibrent, de même que ceux des couches en-deçà de *AB*, car, « de même nature », à savoir en petits tourbillons de matière subtile, les différentes « parties » de ce milieu « se pressent & se contrebalancent également ». Mais dans la couche de matière localisée entre *AB* et *CD*, l'éther n'est pas en équilibre avec la pierre car « les parties de la pierre n'ont point de mouvement circulaire ou de force centrifuge, par laquelle elles agissent & tendent à s'échapper de tous côtez comme font les petits tourbillons ». Ce corps rompt localement l'équilibre, rupture à l'origine du mécanisme de pesanteur, le fluide devant en effet « prendre le dessus de la pierre, & la faire descendre » pour deux raisons d'inégales importances : 1/« les petits tourbillons peuvent apparemment être plus au large au-dessus qu'au-dessous, puisque la vitesse de l'Ether est plus grande au-dessous qu'au-dessus, ses diverses distances du centre étant entr'elles reciproquement comme le carré de sa vitesse dans ses distances »² ; 2/mais surtout, « la principale, & la véritable [raison], c'est que la réaction que souffrent les petits tourbillons, est beaucoup plus grande du côté du centre du grand tourbillon de la terre que de tout autre côté ». Comme le suggéraient ses prises de positions à l'égard de « plusieurs Philosophes », pour Malebranche la circulation de l'éther autour de la planète ne joue qu'un rôle mineur sinon nul dans l'explication. Que faut-il entendre pas cette « réaction » et en quoi la forme des petits tourbillons s'avère fondamentale au processus ?

Le tourbillon de la terre *RST* (Fig. 7) la comprime « également de tous les côtez » et ce tourbillon subissant l'action des grands tourbillons voisins « presse vers la terre cette matière [subtile] qu'il contient » (*ibid.*, p. 278-279). La multitude des petits tourbillons se retrouve alors dans « un parfait équilibre » dont Malebranche rend compte en examinant les forces subies par une série de petits tourbillons alignés suivant un rayon terrestre *AO* : « l'action de la force centrifuge de tous les petits tourbillons qui sont en dessus rangez sur la ligne *OA*, retombe sur-eux-mêmes, à cause de l'immobilité ou de la résistance du centre *O* également poussé par les tourbillons qui sont en dessous [du côté de *M*] ». En effet, tout d'abord « l'action de la force centrifuge » d'un premier petit tourbillon (noté 1) par laquelle « il tend à s'échapper vers *O*, retombera sur lui toute entière à cause de l'immobilité du centre » (*ibid.*, p. 278)³. Ensuite, le second tourbillon (2) au-dessus sera encore plus repoussé du centre que le premier, « car outre que son action propre retombera sur lui selon la ligne *OA*, il sera encore poussé par la réaction du premier ». Ce phénomène se reproduit au niveau de (3) et ainsi de suite, mais « ces nouvelles augmentations diminuent à proportion qu'elles se partagent à un plus grand nombre de tourbillons en s'éloignant du centre » jusqu'à devenir « presque nulles ».

1 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 277.

2 L'examen de cette proportion figure dans la section relative à « la pesanteur des planetes », voir ci-dessous. Par la circulation de l'éther autour de la planète, la couche la plus proche du centre devrait – avec une vitesse plus grande – aller au-dessus de la pierre.

3 Une « immobilité » relative qui provient de l'égale compression « de tout côtez » de la planète par son propre tourbillon.

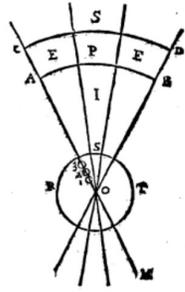


Fig. 7 : Malebranche, *De la recherche de la vérité* (1712), t. 4, p. 481

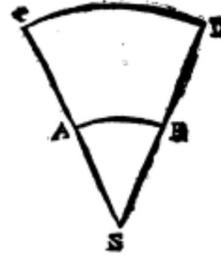


Fig. 8 : Malebranche, *De la recherche de la vérité* (1712), t. 4, p. 499.

En supposant maintenant en lieu et place d'un « vingtième tourbillon » un « petit corps solide [P] sans aucun mouvement, ou sans une force centrifuge qui puisse retomber sur lui », celui-ci se voit « repoussé vers le haut » par les dix-neuf tourbillons au-dessous en équilibre avec leurs dix-neuf voisins sur d'autres rayons contigus, mais pas autant que les vingtièmes tourbillons de ces voisins, car P ne possède pas « une force centrifuge qui puisse retomber sur lui & l'éloigner du centre ». Les petits tourbillons en deçà de AB et au-delà de CD, et à égale distance de O, sont en équilibre et subissent la même réaction de bas en haut. Ceux situés entre ces lignes ne sont pas en équilibre et puisqu'il se rencontre davantage de tourbillons dans les zones E, E que dans P, « l'Ether qui est en E, E est plus poussé vers le haut par la réaction qu'il souffre, que la pierre à proportion qu'il y a plus de tourbillons que dans la pierre ». Par conséquent, « il [l' éther] se répand sur la pierre, à cause de sa fluidité & mobilité extrême, & il la pousse vers le centre de la terre ; & cela par la même raison que l'eau étant plus poussée de haut en bas que du bois, elle glisse sous le bois & le fait monter » (*ibid.*, p. 278-279).

L'explication repose donc sur un équilibre global rompu par la présence d'un corps d'une « nature » hétérogène à l'éther et sur le fait que ce dernier se compose uniquement de petits tourbillons et non de « petites boules infiniment dures & solides, & par conséquent sans ressort, & sans force centrifuge ». Ce « ressort » fonde alors une différence de pression/réaction à l'origine de la chute ; sans lui, autrement dit avec des « boules dures », « la pierre P. demeurera en équilibre avec l'éther E, E » et, par conséquent, P se verrait emporter par la circulation de l'éther, celle-ci ne permettant pas d'expliquer la pesanteur du corps¹.

« La pesanteur des planètes »

Quelle cause Malebranche assigne à « la pesanteur des planètes qui les oblige de circuler autour du soleil » ? Tout d'abord, il suppose la matière dans le grand tourbillon solaire qui entraîne les planètes et leurs tourbillons « extrêmement agitée » et elle circule parce qu'« elle est également comprimée de tous côtes par la matière qui l'environne » ; en somme la circulation en tourbillon résulte à l'instar de celle qui affecte un petit tourbillon de la compression extérieure. Ensuite, cette pression s'exerce de manière égale vers le soleil. Enfin, par la force centrifuge issue de son mouvement de révolution la matière comprimée « contrebalance » cette compression (*ibid.*, p. 280). Malebranche qualifie cette force externe subie par le fluide et provenant des autres tourbillons d'« espece de pesanteur de la matière subtile ». Elle égale la force centrifuge du tourbillon solaire car « toutes les parties de

1 En les supposant dures, « les petits boules 1. 2. 3., &c. porteront le poids, qui les comprime également d'un côté & de l'autre du centre de la terre ; mais elles ne rejailliront point ; puis quelles n'ont point de ressort », car seul le « ressort » fait rebondir les corps et « la force des ressorts que font les corps ne consiste que dans la force centrifuge des petits tourbillons qui sont dans leurs pores », *ibid.*

l'Univers sont en équilibre ou tendent à s'y mettre ; par ce principe général de la physique, que tout corps moins pressé d'un côté que d'un autre, se meut jusqu'à ce qu'il le soit également de tous côtés » (*ibid.*) Le point de départ de l'analyse repose ainsi sur l'équilibre de l'univers.

Ceci permet de fonder de manière *apriorique* la troisième loi empirique de Kepler. Malebranche divise l'éther en « couches sphériques » concentriques autour du soleil, « couches sphériques [qui] seront entr'elles comme les quarrés de leurs diamètres ou de leurs distances » (*ibid.*) Par « le principe général des mécaniques, ou cette notion commune, qu'il n'y a d'équilibre que lors que les forces contraires sont égales » il suit, afin que les couches « supérieures & inférieures soient en équilibre & portent également [...] par la force centrifuge qui résulte de leur vitesse, la pesanteur ou le poids de leur compression vers le soleil » que « leurs circonférences soient en raison réciproque des quarrés de leurs vitesses » (*ibid.*, p. 280-281)¹. En effet (Fig. 8), « afin que la couche Sphérique inférieure *AB* soit en équilibre avec la Supérieure *CD* ou porte également le poids de la compression du tourbillon, il est nécessaire par le principe général des mécaniques, que leurs forces centrifuges soient avec elles en raison réciproque » (*ibid.*, p. 286-287). La force centrifuge « d'un point » de la matière composant *AB* vaut $\frac{v^2}{d}$, avec *v* la vitesse linéaire de circulation de ce point, et *d* = *SA* ; de la même manière, un « point » de *CD* possède la force $\frac{X^2}{D}$ avec *X* la vitesse du point et *D* = *SD*. En nommant *c* et *C* les « circonférences » (périmètres) de deux couches de diamètres *d* et *D*, le « principe général » conduit à la relation $\frac{v^2}{d} \cdot c^2 = \frac{X^2}{D} \cdot C^2$ (1). En effet, la surface de la sphère de rayon *SA* correspond à une quantité proportionnelle au carré de *SA*, ce rayon étant lui-même proportionnel à *c* la « circonférence ». Puisque $\frac{c}{d} = \frac{C}{D}$ la relation donne $v^2 \cdot c = X^2 \cdot C$ ou encore $v^2 \cdot d = X^2 \cdot D$ (2) ; de l'équilibre et de l'application du « principe » résulte donc des circonférences « en raison réciproque des quarrés de leurs vitesses ». En considérant que l'éther circule à vitesse constante avec *t* et *T* les périodes des révolutions, $v = \frac{c}{t}$ et $X = \frac{C}{T}$, soit encore $v \propto \frac{d}{t}$ et $X \propto \frac{D}{T}$, relations qui placées dans (1) conduisant à $\frac{t^2}{T^2} = \frac{d^3}{D^3}$, expression identique à la troisième loi de Kepler (*ibid.*, p. 287). Ce type de démonstration s'avère semblable à celui figurant chez Philippe Villemot dont Malebranche s'inspire très probablement².

Puisque l'hypothèse de l'équilibre universel permet de retrouver la loi de Kepler, « la raison s'accorde [...] avec l'expérience »³. Inversement, « les observations astronomiques s'accordent parfaitement avec ce qu'on vient de prouver par la raison. Car si dans la proportion [la loi de Kepler] que donne les observations, on met au lieu des temps leurs

1 La circonférence correspond ici à celle du cercle obtenu par l'intersection de la sphère avec le plan de l'écliptique.

2 Le calcul détaillé ci-dessus correspond à celui proposé dans une feuille d'*errata* insérée dans certains exemplaires de *De la recherche*, le premier raisonnement de Malebranche contenant une erreur : il considérerait non pas des sphères mais des cercles et, par conséquent, la relation (1) s'écrivait alors $\frac{v^2}{d} \cdot c = \frac{X^2}{D} \cdot C$. Sur les corrections de Malebranche, voir les variantes dans Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 286-287 ; voir Robinet, *Malebranche de l'Académie des Sciences*, p. 220-221. Robinet note que « Malebranche trouve dans Villemot [...] un terrain tout préparé » pour ce calcul, *ibid.* Par une relation du type (2), et donc en associant les forces centrifuges à leurs surfaces sphériques, Villemot obtient la troisième loi de Kepler qui résulte alors d'un équilibre de sphères. Voir Villemot, *Nouveau système ou nouvelle explication du mouvement des planetes*, Lyon, Louis Declaustre, 1707, p. 42-46 et p. 56-58. Pour la démonstration « à priori de cette règle » de Kepler, Fontenelle écrit que « M. Villemot auroit incontestablement la gloire de l'avoir trouvée le premier », Fontenelle, *Sur les forces centrales des planetes*, MARS 1707 (1709), p. 101. Voir Brunet, *L'introduction des théories de Newton*, p. 10-18. Sur Villemot et son *Nouveau système*, voir Fabrice Ferlin, « Le Lyonnais Philippe Villemot, fondateur d'une 'astronomie cartésienne' », dans Crépel et Schmit, *Autour de Descartes et Newton*, p. 163-192.

3 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 287. Malebranche remarque que « si les Astronomes n'avoient point reconnu par leurs observations le rapport des tems des révolutions des planetes, à leurs distances du centre commun de leurs révolutions, on pourroit le découvrir [...] par la connoissance qu'on a des forces centrifuges », *ibid.*, p. 286.

valeurs, c'est à dire, les révolutions des planetes divisées par leurs vîtesses ; on trouvera la même proportion que celle qui est nécessaire selon la raison, pour conserver l'équilibre dans les couches de la matière subtile », cette « proportion » correspondant à (2). Ainsi, « lorsque les couches inférieures ne résistent aux supérieures, ou ne portent le poids de la compression du tourbillon que par leurs forces centrifuges ; il est nécessaire pour conserver l'équilibre, que la règle de Képler soit exactement observée. Cela est évident par la raison, & certain par les observations astronomiques ». Par ailleurs, « les Planetes ont la même vîtesse que les couches qui les environnent, ou plutôt qu'elles achevent leur révolution entiere dans le même tems », les unes et les autres vérifiant une relation du type (2) : ceci suggère que leur mobilité résulte de celle du fluide (*ibid.*, p. 282-283). Malebranche précise cependant que « les Planetes vont aller quelque peu moins vîtes, lorsque leurs couches augmentent en vîtesses ; & quelques peu plus vite, lorsque leurs couches vont plus lentement dans diverses parties de leur révolution ». D'après les calculs ci-dessus la vitesse d'une couche donnée est constante, et cette dernière citation peut alors suggérer qu'une planète circule à travers plusieurs couches et puisse acquérir différentes vitesses. Dans ces conditions, les planètes décriraient des ellipses tandis que l'éther suivrait un cours circulaire ou bien les tourbillons suivraient des circulations elliptiques – assimilées à des cercles dans les calculs – entraînant les planètes, et les différences de vitesses de ces dernières au regard du tourbillon résulteraient du fait qu'un fluide donne à un corps sa vitesse seulement au bout d'un certain temps¹.

Ainsi, la « vraye pesanteur des Planetes & des couches sphériques, celle qui les pousse vers le centre du tourbillon, celle qui les contraint de circuler, celle enfin à laquelle elles résistent par la force centrifuge qui naît de leur vîtesse, ne vient point du centre du tourbillon, mais de sa compression extérieure »². Si pour Newton la loi de gravitation a un caractère universel, applicable aussi bien aux corps proches de la surface terrestre qu'à la révolution des planètes, pour sa part Malebranche fait reposer la pesanteur terrestre sur la réaction des petits tourbillons et celle des planètes sur l'équilibre entre les couches du fluide. Cette réaction des « petits ressorts bandeaux » se diffuse à travers l'éther et donc s'amenuise à mesure de l'éloignement du centre de l'astre. Si au niveau d'une planète, les forces centrifuges de ces tourbillons permettent de soutenir la compression extérieure, à des distances plus éloignées l'équilibre du monde se fonde sur la seule circulation des couches de matière : « lorsque les couches sont trop éloignés du centre du tourbillon, la réaction qui résulte de la compression qui s'y fait, s'affoiblissant & se dissipant à mesure qu'elle s'en éloigne, ne monte point jusqu'à ces couches trop éloignées, & ne concourt point ou que très-peu avec leurs forces centrifuges pour soutenir la pesanteur des couches extérieures » (*ibid.*) ; cette « dissipation » provient du fait qu'à mesure de l'éloignement du centre d'une planète, les réactions « se partagent à un plus grand nombre de [petits] tourbillons » (*ibid.*, p. 278-279). Les observations astronomiques et la nécessité d'un équilibre global justifient cette double explication.

1 Malebranche écrit que les corps dans un fluide en mouvement « doivent en recevoir l'impression, & aller même après quelque tems presque aussi vite que le fluide », *ibid.*, p. 276. Costabel suppose que Malebranche prend en compte la trajectoire elliptique de l'astre. En passant d'une couche à l'autre, celui-ci n'acquiert pas immédiatement la nouvelle vitesse de circulation du fluide : elle conserve une vitesse supérieure (resp. inférieure) à sa nouvelle couche si elle provient d'une autre plus rapide (resp. moins rapide). Ceci donne lieu à des « compensations subtiles et délicates » car, finalement, la planète se retrouve après un tour complet autour du soleil dans une couche possédant sa période de révolution, *ibid.*, « *Commentaires scientifiques* », p. 406. Mais il faut aussi relever que Malebranche évoque « le cours à peu près circulaire ou elliptique des grands tourbillons qui entraînent les planetes principales autour du foyer », Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 271. De la même manière, dans l'« abrégé », l'éther emporte les planètes et l'« équateur » des grands tourbillons correspond à « une ligne courbe irrégulière & qui peut approcher de l'ellipse » ; Malebranche évoque aussi bien les « cercles » ou « ellipses » décrits par les planètes. Voir Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 328 et p. 333.

2 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 283.

En effet, si la couche de matière subtile au niveau de Terre soutenait par la seule force centrifuge issue de sa rotation autour de la planète la compression de la matière subtile environnante ou, dit autrement, en supposant que la pesanteur sur Terre résulte de cette circulation, selon le calcul la vitesse de l'éther devrait surpasser 16 à 17 fois celle de l'équateur de la Terre¹. Mais les « observations » montrent que « ni le soleil, ni la terre, ni jupiter ne tourne [sur leur centre] aussi vite que l'exige la règle de Kepler » (*ibid.*, p. 284)². Suivant Malebranche, « la réaction qui résulte de la compression au centre immobile, concourt seize fois autant que la force centrifuge de cette couche, pour soutenir le poids des couches superieures & conserver l'équilibre ; & c'est ce concours & cette réaction qui est la cause de la vraie pesanteur des corps grossiers »³. Ainsi, la « regle de Képler » requiert que l'éther tourne autour de la Terre 17 fois plus vite qu'elle et, par conséquent, « il faut lui [à l'éther au niveau immédiat de la Terre] ajouter une autre force égale à celle qui lui manque ; autrement l'équilibre seroit rompu ». Les petits tourbillons pallient cet écart et jouent ce rôle de pourvoyeurs d' « une autre force égale » afin de conserver l'équilibre global. Dans ces conditions, puisque la résistance que fait l'éther au niveau de la Terre à la pression des couches supérieures égale celle qui existerait s'il tournait 17 fois plus vite que la Terre, rien ne peut être affirmé concernant la vitesse réelle du fluide à proximité de la planète, sinon que « la matière subtile qui les environne [astres et planètes] immédiatement, ne l'observe pas [la règle de Kepler] »⁴. Ainsi, lorsque les couches se résistent par leurs forces centrifuges il faut pour l'équilibre que la loi de Kepler soit observée, ce même équilibre ne requérant pas cette condition au niveau de chaque planète et astre.

Dans le cas du Soleil, l'application de la relation (2) montre que sa surface « devrait tourner en trois heures ou environ » pour conserver l'équilibre avec les couches supérieures dont il est le centre, mais l'observation montre une rotation de « vingt-sept jours et demi » et, par conséquent, « la matière céleste est par-tout en équilibre jusqu'à la surface du soleil, où

1 Voir au début de la section sur la pesanteur terrestre pour cette valeur numérique.

2 Saurin établit suivant une autre méthode cette proportion des vitesses de 17 à 1 : il compare les mouvements de la Lune et de la Terre, et utilise la « regle de Kepler », à savoir la relation du type $v^2 \cdot d = X^2 \cdot D$ trouvée par Malebranche. Il conclut alors que « cette loi même que suivent les vitesses des Planetes, quand on la [Terre] considere dans la matiere celeste [à proximité de la surface des planètes], est environnée de difficultez » : « pourquoi ne suit-elle pas [la Terre] la regle » et ne fait qu'une rotation quand la matière qui l'entoure immédiatement en fait 17 ? Une difficulté commune au Soleil, à Jupiter, à Saturne. Voir Saurin, *Examen d'une difficulté considérable*, p. 145-147.

3 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 283-284.

4 *Ibid.*, p. 284. Concernant cette différence entre la vitesse d'une planète ou d'un astre et celle de l'éther qui les voisine Saurin admet ne pas être « content de [ses] lumières sur cette difficulté », et renvoie à la « réponse » contenu dans l'ouvrage de Villemot. Voir Saurin, *Examen d'une difficulté considérable*, p. 147. Pour le Soleil, Villemot conçoit un « bouillonnement très-violent que se fait dans le centre », d'une « agitation inconcevable » poussant la matière du grand tourbillon par des « secousses réitérées avec une précipitation presque infinie » faisant paraître cette matière sous la forme d'un « Astre ardent & lumineux », Villemot, *Nouveau système*, p. 66. Par « bouillonnement », il entend « le mouvement irregulier des parties d'un fluide qui circule, lesquelles se choquent mutuellement », *ibid.*, p. 28. Outre ce mouvement désordonné, la matière au sein du soleil possède un mouvement de rotation, *ibid.*, p. 68-70. Les observations des tâches solaires montrent que la surface tourne en 27 jours et demi, alors que selon la loi de Kepler ce mouvement ne doit durer que 3h, *ibid.*, p. 70. Cette vitesse théorique plus grande que celle réellement observée fait conclure qu' « il n'y a que la 220^e. partie du mouvement de la surface du Soleil qui soit employée à la circulation [...] les 219. parties de ce mouvement restantes, étant employées au bouillonnement de la matière solaire » *ibid.*, p. 76. Ce qui existe pour le grand tourbillon vaut pour les tourbillons particuliers de chaque planète : Villemot évoque l'existence « dans le centre de la Terre & de toutes autres Planetes [d'] un bouillonnement semblable à celui [...] dans le centre du grand tourbillon, quoique beaucoup moindre », *ibid.*, p. 174. Cette matière tend à s'éloigner du centre en ligne droite et elle « presse la matiere voisine vers la circonference, & [...] ainsi elle doit pousser vers le centre les corps grossiers, par la même raison que l'eau tendant en bas fait monter le liege dont elle prend la place », *ibid.*, p. 182-184 ; « ce mouvement central pousse toute la matiere du tourbillon particulier de la Terre par des secousses infiniment promptes a chaque instant insensible à cause de son agitation extrême », *ibid.*, p. 188-190. Ces différents éléments méritent rapprochements avec Malebranche, la lecture de Villemot paraissant déterminante, une différence fondamentale reposant sur le fait que le premier élabore une théorie des petits tourbillons absente chez l'autre, laquelle explique la pesanteur et les ruptures d'équilibre fondant ce que Villemot nomme « bouillonnement ».

l'équilibre se rompt »¹. La circulation de l'éther ne rend pas compte d'un équilibre qui doit cependant nécessairement exister. Malebranche conçoit alors le soleil comme un « feu », soit « un amas de tourbillons rompus » qui « ne pouvant par la seule force centrifuge qui naîtroit de la vitesse circulaire de la matière dont il est composé, soutenir le poids ou la pesanteur du tourbillon, [...] le soutient en repoussant les couches voisines de lui ». Cette « pression » diffère de celle uniforme qui existe entre des couches d'éther : elle produirait certes un équilibre mais « le seul équilibre ne produit rien », en l'occurrence « ni chaleur, ni lumière » propres à l'action du soleil, et cette action soutient alors le poids des tourbillons par « des vibrations très-promptes » conçues comme à l'origine des phénomènes lumineux².

REFRACTION ET REFLEXION DE LA LUMIERE

Le rôle des petits tourbillons

En recourant à l'image d'un « ballon » rempli d'une « matière infiniment fluide », Malebranche écrit que la source de lumière provoque des vibrations dans l'éther « de tous côtés » (*ibid.*, p. 257) et que « l'action se communique d'abord en ligne directe » (*ibid.*, p. 264). Dans le mémoire de 1699, et en 1700, Malebranche donne plus à voir le caractère rectiligne de propagation de la lumière, notamment par la représentation des lignes *AS*, *AV* etc. (Fig. 5) qu'il ne le justifie véritablement³. En 1712, il précise que ces vibrations se propagent dans l'éther « en ligne droite » car le parfait équilibre du système de tourbillons qui se contrebalancent par leurs forces centrifuges impose que « les rayons ou vibrations de pression sont autant pressés à droite qu'à gauche » et qu'ils ne peuvent donc pas « changer de direction » (*ibid.*, p. 293-294). La pression se transmet donc d'un tourbillon à l'autre le long de leurs diamètres formant une droite : « c'est selon la ligne droite des diverses déterminations de pression que les rayons sont diversement ou réfléchis ou rompus » (*ibid.*, p. 289-290).

Puisque la lumière se propage en « un instant », le mécanisme de réfraction ne repose pas sur une variation de vitesse de la lumière d'un milieu dans un autre mais, comme pour la réflexion, sur un changement de « détermination ». Les phénomènes lumineux ne résultent pas d'un déplacement de matière mais uniquement de la propagation d'une pression ; « comme tout est plein & infiniment comprimé, les rayons se réfléchissent & transmettent leur action sans que les petits tourbillons de l'Ether changent de place ». Ainsi la réflexion ne s'identifie pas à celle « des corps durs à ressort mûs, contre une surface plane » : « il n'y a là que de la pression sans mouvement, si ce n'est celui qu'on conçoit nécessaire aux vibrations de pression » (*ibid.*, p. 289). Les collisions ne fondent pas le mécanisme des phénomènes optiques : les rayons ne se réfléchissent pas « parce qu'ils choquent des parties solides du verre qui leur résistent » ou bien des « parties grossières » (*ibid.*)

Malebranche expose une série de faits expérimentaux invalidant l'usage de ces « parties grossières » pour expliquer la réflexion et la réfraction, notamment l'existence d'un angle (l'angle de réfraction limite) au-delà duquel un rayon passant d'un milieu plus réfringent

1 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 281. Puisque le rapport entre grand axe de révolution de la terre et le diamètre du soleil vaut environ 220, et que la durée de révolution de la Terre correspond à 365×24 h, la troisième loi de Kepler permet de déterminer la durée de rotation du soleil et de trouver ce résultat de 3h. Manifestement, Malebranche emprunte ici ses valeurs numériques à Villemot, *Nouveau système*, p. 70-72, voir sur ce point voir « *Commentaires scientifiques* », RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 404-405, « *Notes de l'éditeur* », RDV, *Eclaircissement XVI*, notes 198 et 199 p. 379-380 et Robinet, *Malebranche de l'Académie des Sciences*, p. 233-234.

2 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 282.

3 *A contrario*, des successeurs de Malebranche adeptes du système des petits tourbillons développeront cet aspect et notamment en réaction face aux critiques de Newton, voir Partie II, Chapitre IV.

(verre, eau) à moins réfringent (air) n'est plus réfracté mais seulement réfléchi, angle qui correspond aussi à celui d'une réfraction lorsque le rayon incident passe d'un milieu moins réfringent à un plus réfringent en rasant la surface de séparation des milieux. En effet, comment des rayons dans l'air rasant une surface de verre y entreraient « facilement, & la plus grande partie sans trouver de parties grossières qui les fassent réfléchir », ces matières étant plus denses que l'air ; inversement, pourquoi les rayons sortant du verre avec un angle d'incidence supérieur à l'angle limite n'entreraient pas dans l'air : « peut-on croire que l'air, qui transmet si aisément la lumière, ait sans comparaison plus de parties grossières qui la fassent réfléchir [la lumière], que l'eau & le verre ». Par ailleurs, le principe de continuité contredit l'usage de ces « parties grossières » pour la réflexion : à cause de celles-ci répandues dans l'air, les rayons sortant de l'eau ou du verre devraient subir une réflexion totale pour une valeur proche mais supérieure de l'angle de réfraction limite, tandis que si cette valeur diminue les rayons « entrent presque tous » dans l'air. Il existe donc une autre cause de la réflexion au niveau de l'air que « ses parties grossières ». Une autre « preuve plus démonstrative » consiste à recourir à un rayon *AC* (Fig. 9) qui passant à travers un trou lorsqu'il tombe sur une lame de verre montre « deux petits cercles éclairez » issus de réflexions et réfractions successives et obtenus par les rayons *CL* et *MN*. La réflexion en *B* ne résulte pas de la surface inférieure de la lame, mais de l'air ou de la matière subtile vers cette surface ; Malebranche ne précise pas davantage, mais sans doute est-ce parce que le rayon traverse le verre et que si la réflexion provenait de cette matière elle pourrait tout autant se produire autre part qu'en *B*. Or, des expériences réalisées dans « la machine du vuide » disqualifient l'action des « parties grossières » de l'air puisque le phénomène se produit de la même manière qu'à l'air libre (*ibid.*, p. 290-291)¹.

La réfraction ne résulte pas davantage d'une action sur des « parties grossières » qu'il s'agisse de celles de l'air ou des parties solides des corps transparents. Selon Malebranche, les rayons « ne sont pas repoussés » lorsqu'ils rencontrent des parties dures ne possédant pas de forces centrifuges et « c'est comme si ils tomboient sur une partie molle ». En effet, cette dureté provient de la compression des petits tourbillons sur chaque partie de la matière qui en tant que telle n'est pas élastique et donc non susceptible de produire un rebond, tourbillons dont les vibrations forment justement les rayons : « la pression de chaque vibration qui tombe sur cette petite partie [de matière], & qui l'ébranle quelque peu, se répand irrégulièrement sur les tourbillons qui la compriment » ; puisque la lumière consiste en une vibration propagée selon une droite, cette irrégularité ne fait qu'exciter de la chaleur, un corps chaud étant celui dont les parties subissent un « ébranlement » et alors les rayons « s'éteignent »². Dès lors,

la réflexion & la réfraction des rayons, n'étant point produit par les parties grossières de l'air qui sont dans l'éther, ni par celles qui composent le verre ; ce détour ne peut venir que de la force centrifuge des tourbillons de la matière subtile, par laquelle ils se compriment entr'eux & tous les corps qu'ils environnent, pour conserver l'équilibre entre les forces contraires selon la loy que tout corps se meut vers le côté qu'il est moins pressé (*ibid.*, p. 295).

-
- 1 Sur cette absence de réflexion et de réfraction sur les parties solides, voir Newton, *Traité d'optique*, Livre II, Partie III, Proposition VIII, p. 359-370 ; « Malebranche suit de près le texte de Newton », voir « *Commentaires scientifiques* », RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 411-412.
 - 2 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 292. L'expérience de la machine à vide relatée ci-dessus suffit à récuser le recours à l'air dans l'explication de la réfraction, celui-ci dans ce type d'explication devant par ses « parties grossières » présentes dans les pores des corps transparents repousser un rayon au point de « le rompre jusqu'à la perpendiculaire ». Au demeurant, comme nous le signalerons ci-dessous, les rayons s'éteignent en heurtant des corps durs, ou bien ils ne sont pas repoussés suffisamment pour transmettre les vibrations, ni avec « assez de force » capable de « rompre des rayons » à la surface du verre ou du diamant. Malebranche évoque les corps noirs qui ne réfléchissent pas la lumière, qui s'échauffent beaucoup plus que les blancs qui la réfléchissent ainsi que les transparents la transmettent presque tous. Enfin, il précise aussi que dans un volume donné d'air et d'éther, le premier n'en occupe que « la dix millième partie », proportion qui prépare sa propre explication qui repose sur le rôle de l'éther.

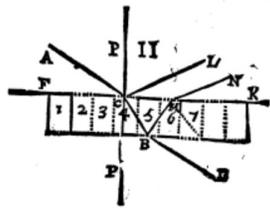


Fig. 9 : Malebranche, *De la recherche de la vérité* (1712), t. 4, p. 510.

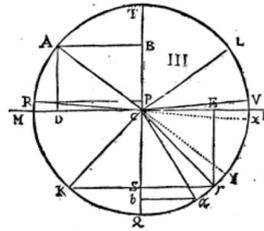


Fig. 10 : Malebranche, *De la recherche de la vérité* (1712), t. 4, p. 510.

La propagation de la lumière se fait en ligne droite dans l'éther l'équilibre global impliquant que « les rayons ou vibrations sont autant pressés à droite qu'à gauche » (*ibid.*, p. 293-294); le changement de direction produit par la réfraction provient alors d'une modification locale affectant les petits tourbillons causée par la présence du verre. Malebranche exemplifie cette altération en considérant *FK* (Fig. 9) la surface d'une lame de verre, 1, 3, 5, 7 correspondant à ses parties solides et 2, 4, 6 à ses pores remplis de tourbillons. Si le rayon incident *AC* vient de l'air, il se détourne vers la droite *P*

car y ayant plus de tourbillons dans l'air que dans le verre, il y a plus de forces centrifuges ; & le rayon n'étant plus également pressé par les forces centrifuges des tourbillons environnans ; il faut que la direction de pression se détourne du côté le plus foible (*ibid.*, p. 294-295).

Arrivé en *B*, le rayon subit à nouveau une réfraction et sort du verre selon *BD* parallèle à *AC* car « il y a le même rapport entre la force centrifuges des tourbillons qui sont dans l'air au dessus & au dessous du verre à celle qui est aux deux surfaces du verre ; le rayon se détourne autant de la perpendiculaire au point de la surface dont il est sorti du verre, qu'en y entrant ». En supposant la face inférieure de la lame en contact avec de l'eau, *BD* s'éloigne aussi de la perpendiculaire *P* « mais d'autant moins que s'il [le rayon] entroit dans l'air, qu'il y a moins de tourbillons & de force centrifuge dans l'eau que dans l'air » (*ibid.*, p. 295). Ces différents degrés de réfractions s'interprètent par le fait qu'« il y a moins de tourbillons dans l'eau que dans l'air [...] puisque l'eau pèse plus que l'air » et aussi que l'eau contient plus de tourbillons que le verre « puisque l'eau pèse [...] moins que le verre » (*ibid.*) ; « cette réfraction est d'autant plus grande que les corps où ils [les rayons] entrent sont plus pesans ou plus denses, que ceux dont ils sortent » (*ibid.*, p. 294)¹. Ainsi, pesanteur ou densité rendent compte d'une différence du nombre de tourbillons contenu dans les corps où se propage la lumière ; réfraction et pesanteur viennent d'une même cause, de ce « qu'il y a plus de tourbillons, & par conséquent plus de force centrifuge dans l'air que dans les corps plus pesans & plus durs » et « les corps durs principalement, souffrent ordinairement une réfraction exactement proportionnée à leur pesanteur »². En somme les corps les plus pesants sont les plus denses car ils contiennent moins de tourbillons et Malebranche associe ce « nombre de tourbillons » à « la force centrifuge » disponible : moins de tourbillons dans les pores d'une matière transparente entraîne moins de force, et le rayon ne subissant plus une égale pression « se détourne du côté le plus foible ».

Lois de réfraction et de réflexion

1 L'expérience montre que « plus les corps transparens sont denses ou pesans, plus la réfraction des rayons qui y entrent est grande », *ibid.*, p. 289. Voir aussi Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVII*, p. 311 : « les réfractions augmentent d'ordinaire à proportion de la densité des corps transparens par lesquels passent les rayons de la lumière ».

2 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 299.

Pour déterminer la loi de la réfraction, Malebranche considère qu'au-delà de MN (Fig. 10) le milieu est composé par « des tourbillons avec très-peu d'air grossier », et que la zone en-deçà correspond à du verre, la surface MN comprenant aussi « des tourbillons avec très-peu d'air, mais avec beaucoup de parties grossières dont le verre est composé » (*ibid.*, p. 295-296). Un rayon tombant selon la direction normale TC au verre ne subit pas de modification de trajectoire puisqu'il est également pressé par les tourbillons à sa gauche et à sa droite. Pour sa part, le rayon AC traverse « deux rangs de matière inégaux en tourbillons » et « il est évident qu'à son passage de l'air dans le verre, il sera détourné vers la perpendiculaire à ces deux rangs ou surface de force inégale » ; $MTNQ$ représente alors un petit tourbillon « entre ces 2 rangs de matière de force inégale » (*ibid.*, p. 296). Le rang supérieur presse plus que l'autre le tourbillon selon la perpendiculaire TC parce qu'« il y a plus de tourbillons, & par conséquent plus de force centrifuge ». Si TC représente la pression entière exercée, la pression agissant effectivement sur le rayon AC s'évalue par la quantité AB (*ibid.*, p. 296-297)¹. Ainsi, les sinus des angles d'incidences de rayons tels que AC et RC , à savoir les quantités AB pour l'angle \widehat{ACT} et RP pour \widehat{RCT} (en prenant un rayon unitaire pour le cercle $MTNQ$) expriment « les diverses forces, dont la force totale qui cause le détour & qui n'est que l'excès de la force centrifuge des petits tourbillons qui sont dans l'air, sur ceux qui sont dans le verre, force qui demeure toujours la même & qui est exprimée par la perpendiculaire CT , appuie sur ces rayons & les presse ». Selon Malebranche, « les détours de ces rayons [incidents] devant être entr'eux comme les forces qui les causent, les Sinus des Angles de réfraction de divers rayons, doivent nécessairement avoir le même rapport avec les Sinus de leurs Angles d'incidence » ; en considérant que AC et RC se réfractent en Ca et Cr , alors $\frac{RP}{AB} = \frac{rS}{ab}$ ou encore $\frac{RP}{rS} = \frac{AB}{ab}$ ce qui revient à signifier la constance du rapport du sinus de l'angle d'incidence à celui de réfraction, soit la loi de Snell-Descartes que Malebranche qualifie de « Principe fondamental de la Dioptrique » (*ibid.*, p. 297)². La démonstration repose donc sur une différence de pressions entre le rang supérieur et l'inférieur (« l'excès de la force centrifuge des petits tourbillons qui sont dans l'air, sur ceux qui sont dans le verre ») exercée normalement au rayon et sur la proportionnalité de cette cause à son effet (« les détours » des rayons incidents marqués par les sinus des angles de réfraction). Puisque Malebranche énonce un « axiome » qu'il estime « le fondement de la Dioptrique », à savoir « que les rayons qui passent d'un milieu dans d'autres suivent exactement le même chemin en retournant qu'en allant »³, un rayon incident selon aC allant du verre dans l'air subit une réfraction en un rayon CA , ba représentant la « force » exercée sur aC .

Un tourbillon peut « presser & être pressé de tous côtez & en même-temps » et ainsi des rayons de différentes couleurs peuvent se croiser « sans se confondre, & se détruire » (*ibid.*, p. 300). Les « rayons simples » ne changent pas leur couleur, autrement dit, « la promptitude de leurs vibrations », et « leurs refractions ont toujours le même rapport les unes avec les autres », ce que Newton prouve « par des expériences décisives ». Ceci résulte de l'absence de « vuide » et du milieu « comme infiniment comprimé » faisant que le rayon pressé par un bout presse « en même-temps par tout jusqu'au nerf optique » (*ibid.*, p. 300-302)⁴. En somme,

1 « La pression entière selon TC , est à la partie de cette même pression qui appuie sur le rayon AC , comme TC , est à la perpendiculaire tirée du point T sur AC , laquelle est égale à AB ». Malebranche décompose la pression TC en une action selon la direction AC et une autre normale à AC ; cette dernière quantité égale AB car le triangle ainsi formé est semblable et égal à ACB .

2 Pour cette terminologie, voir Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVII*, p. 317.

3 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 289.

4 Pour ces « rayons simples » Malebranche donne « le rouge, l'orangé, le jaune, le verd, le bleu, l'inde ou bleu obscur, & le violet ». Il évoque aussi sur la décomposition de la lumière blanche « l'excellent Ouvrage de M. Newton », *ibid.*, p. 258 et p. 302. Malebranche n'adopte pas pour autant le spectre continu des couleurs simples et mentionne « un nombre déterminé de rayons simples » à l'instar des tons dans une octave, *ibid.*, p. 301-302. Voir sur ce point Darrigol, *A History of Optics*, p. 141.

couleurs et réfractions proviennent avant tout de pressions lesquelles s'avèrent constantes pour une couleur donnée et transmises en un instant du fait des propriétés de l'éther ; ce dernier fonde cette constance dans la propagation de pressions et conséquemment la constance du rapport que les réfractions entretiennent¹. Comme souligné plus haut, la matière est en déséquilibre permanent dans le soleil, et elle « repousse par des mouvemens variez » les couches de petits tourbillons équilibrées qui lui sont contiguës : malgré ces mouvements « irréguliers », Malebranche juge qu'« il y a [...] bien de l'apparence qu'à la sortie du Soleil, les petits tourbillons sont contraints de s'accorder à faire leurs vibrations en des instans, commensurables entr'eux » et « cet accord fait [...] chaque rayon conserve ensuite la même promptitude dans ses vibrations » (*ibid.*, p. 301). A partir des expériences sur la séparation des couleurs simples, Malebranche estime « avec beaucoup de vraisemblance, que le rayon rouge, qui a le plus de force, puisqu'il souffre moins de réfraction que les autres rayons, n'est pas repoussé si promptement, ou recommence ses vibrations moins souvent que ceux qui le suivent ; & que le violet qui est le dernier & le plus foible, est celui de tous dont les vibrations sont les plus petites & les plus promptes, ou recommencent plus souvent » (*ibid.*, p. 302). La moindre déviation du rayon rouge informe qu'il possède « le plus de force » et, manifestement, Malebranche relie ici la fréquence ou promptitude des vibrations à la « force » qui ressortit davantage à l'intensité : au rayon le plus « fort » (resp. plus « foible ») correspond des vibrations moins (resp. plus) fréquentes (*ibid.*)²

L'air, le verre ou plus généralement les parties solides de la matière ne causant pas la réflexion, il faut en chercher la cause dans « les forces centrifuges des tourbillons même ». Développer une analogie tout en soulignant les différences entre la réflexion d'« une boule très-dure ou à ressort parfait » sur un plan et la réflexion lumineuse suffit à « expliquer » cette dernière et notamment rendre compte de l'égalité entre les angles d'incidence et de réflexion. Tout d'abord, le rayon ne subit qu'un changement de « détermination » de « la ligne de pression des petits tourbillons » qui « ne sont point en mouvement comme la boule ». Ensuite, cette modification de la direction ne se fait pas là où les rayons et les tourbillons touchent « les parties solides du verre » qui ne possèdent pas de force centrifuge, mais « sur les tourbillons qu'ils [les rayons] pressent & qui sont détournés vers la perpendiculaire par le plus grand nombre des tourbillons qui sont au dessus du verre » comme expliqué pour la réfraction ; par « détourner », Malebranche n'entend pas ici le mouvement d'un tourbillon mais celui de la vibration qui l'affecte³. La plus grande partie de cette pression se transmet à travers le verre tandis que l'autre donne naissance à un « rayon réfléchi [...] plus foible que le rompu » : la réflexion de cette pression s'effectue par « la réaction des tourbillons pressez par l'action de ceux qui sont au dessus du verre & qui les détournent vers la perpendiculaire » (*ibid.*, p. 299). L'égalité entre les angles d'incidence et de réflexion repose sur une analogie avec le choc de corps parfaitement élastiques ; le « ressort » faisant rejaillir la boule provient de la force des petits tourbillons dans ses pores, celui faisant rejaillir les rayons de la force centrifuge des tourbillons qui le composent⁴.

1 Voir aussi Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 258 : « comme tout est plein & infiniment comprimé chaque rayon conserve dans toute sa longueur la même promptitude de vibration qu'à la petite partie de la flamme qui le produit ».

2 *Ibid.* Voir sur ce point Costabel, « *Commentaire scientifique* », p. 416.

3 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 298-299. Costabel souligne que les tourbillons comme *MTNQ* (Fig. 10) à l'interface des deux milieux se « détournent vers la perpendiculaire » sous l'action de la pression exercée par ceux au-dessus d'eux : *MTNQ* au niveau de la surface du verre subit une déformation et « s'écrase légèrement du côté où la pression est la plus forte », ce qui « incline » alors le rayon vers la perpendiculaire, *ibid.*, « *Commentaire scientifique* », p. 415.

4 Malebranche écrit que « l'on sait assez pourquoi une boule très-dure ou à ressort parfait, tombant obliquement sur un plan, rejaillit de manière par la résistance du plan que l'Angle de réflexion est égal à son Angle d'incidence », et que les angles d'incidence et de réflexion d'un rayon sont égaux « par une raison semblable à celle de la boule à ressort parfait », Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 298-299. Bien qu'il ne l'explique pas, les décompositions employées lors de l'examen de la réfraction peuvent suggérer qu'il considère que lors d'un choc oblique la composante

Pour conclure, Malebranche termine la démonstration de la loi des sinus en précisant qu'« on voit donc que la force centrifuge des petits tourbillons, & l'équilibre où ils tendent sans cesse à se mettre, donne aisément la raison physique d'une vérité qui est le fondement de toute l'optique » (*ibid.*, p. 297). Un rayon subit une réfraction car il n'est pas également pressé et se détourne alors « du côté le plus foible », ce qui correspond à une application du « principe general de la Physique » évoqué plus haut non pas à un corps sensible, comme pour la chute libre, mais à une vibration qui ne correspond pas à un déplacement de matière. Seule la source de lumière est le siège d'une rupture d'équilibre mais la propagation des rayons et la conservation de leurs spécificités (« promptitude des vibrations » et « force ») requiert des petits tourbillons équilibrés. La différence de pression requise pour la réfraction ne résulterait donc pas d'une différence de forces centrifuges entre un tourbillon dans l'air et l'autre dans le verre car dans ce cas il existerait un déséquilibre au sein du milieu, mais manifestement du « nombre » de tourbillons dans chacun des milieux, à l'instar du mécanisme de pesanteur où cette différence de « nombre » fait choir les corps denses¹. La densité de tourbillons rend compte de ces différents mécanismes ; pour la pesanteur, elle génère une différence de réactions de l'éther sur le sol, pour l'optique elle implique une pression à l'origine de la réfraction². Dans les deux cas, le corps et le rayon se meuvent du côté où ils sont le moins pressés.

CONCLUSION

Le recours aux petits tourbillons s'inscrit dans une lecture critique de la science de Descartes, qu'il s'agisse des explications que ce dernier propose de la cohésion de la matière ou de phénomènes optiques. Le rejet de la force des corps au repos est au fondement d'une telle révision et relie ces deux domaines physiques ; le second élément de Descartes, autrement dit la dureté en soi, apparaît comme une cible privilégiée du mémoire de 1699 essentiellement dévolue à la nature de la lumière, cette science paraissant déterminante dans la réforme proposée par Malebranche. En effet, ce dernier dispose avant 1699 du rejet de la force de repos, sans pour autant que ceci ne le conduise à recourir aux petits tourbillons ; ceux-ci apparaissent en 1699 essentiellement à propos de la nature de la lumière. Malebranche juge nécessaire la formation des petits tourbillons et l'équilibre global de l'univers : la rapidité des mouvements de l'éther générerait un chaos, l'équilibre implique un milieu homogène où les phénomènes (couleurs, lumière) s'avèrent identiques en chaque point de l'espace. Il dévoile ensuite les possibilités offertes par le nouveau système susceptible de rendre compte par des vibrations de la propagation de la lumière et des couleurs ; cette théorie léverait des difficultés propres au système de Descartes ce qui ne soulignerait que mieux la pertinence du mécanisme réformé. Par ailleurs, la matière subtile ne peut pas manquer aux phénomènes tels que le feu, puisqu'elle compose les tourbillons partout présents, tandis que Descartes conditionne ce feu à la présence et à la vitesse du premier élément dont Malebranche juge la circulation compliquée par le second élément. Un autre type de « preuve » de ce système consiste à donner les mécanismes de phénomènes (chute des corps etc.) par le recours aux petits tourbillons.

tangentielle à la surface est intégralement conservée tandis que la normale est intégralement réfléchi, d'où l'égalité des angles ; il évoque une « réaction » des petits tourbillons nécessairement égale à la pression qu'ils subissent et, par conséquent, la composante de pression selon une direction normale demeure la même.

- 1 N'en demeure pas moins que « ces pressions opposées sont inégales et [...] cela soulève une difficulté : comment le petit tourbillon [*MTNQ*] assume-t-il d'ordinaire, si l'on peut dire, cette différence de pression. Malebranche ne le dit pas », Costabel, « *Commentaire scientifique* », p. 414.
- 2 Cette densité intervient aussi chez des savants recourant aux petits tourbillons, mais d'une manière différentes : les tourbillons dans les pores des corps sont chargés de particules de ces corps ce qui les rend denses, autrement dit pesants, au regard des tourbillons à l'air libre. Voir Partie II, Chapitre IV.

La conformation en petits tourbillons des parties de la matière originelle « molle » assure la réserve de forces nécessaires à la production d'événements dans ce monde et à sa conservation. La genèse des tourbillons repose sur l'impénétrabilité de la matière et sur cette condition que ses parties n'opposent pas de force à leur séparation et ce en raison de l'absence de force de repos ; la multitude des mouvements rectilignes empêchés forme les tourbillons à l'instar de ce qui figure chez Descartes mais, pour Malebranche, cette formation est conditionnée à l'absence de force de repos. Le système se compose ainsi de petits tourbillons équilibrés se substituant au second élément de Descartes – Malebranche évoque les « petits tourbillons du second élément »¹ – mais aussi d'autre encore plus petits localisés dans les intervalles entre les premiers, « moins durables dans les intervalles concaves que laissent entre eux les tourbillons qui se touchent » (*ibid.*, p. 271). Au demeurant, la divisibilité « infinie » de la matière fait que « la plus petite sphère peut correspondre à toutes les parties d'une grande » ; la répartition en petits tourbillons pour un volume fini vaut aussi pour chacune de ses parties si petites soient-elles (*ibid.*, p. 266). Par ailleurs, Malebranche mentionne des petits tourbillons et « dans ceux-ci d'autres encore plus petits » (*ibid.*, p. 271)² sans davantage préciser : faut-il considérer ici un emboîtement de tourbillons ?³

La droite – en fait, le mouvement rectiligne uniforme – constitue le point de départ de la démarche du savant dans sa compréhension du monde et répond à la simplicité des voies de Dieu ; si le récit de l'univers ne correspond pas à ce qui s'est réellement produit, il s'agit du cours que les événements auraient pu suivre en fonction des lois instituées. Une fois tirées toutes les conséquences de l'absence de la force de repos, et notamment l'introduction des petits tourbillons vers 1698-1699, le mouvement rectiligne uniforme fait davantage place au « principe general de la Physique » associant la mobilité d'un corps dans un univers équilibré vers l'endroit où il est le moins pressé : les explications mécaniques proposées ne reposent plus sur la force du corps en mouvement à demeurer dans l'état où il se trouve comme chez Descartes⁴, mais sur des différences de pressions au sein d'un milieu.

L'éther sous la forme de petits tourbillons est le « vrai principe » de la physique. Ses tourbillons développent une force infinie ou comme infinie, ils sont « d'une petitesse & fluidité extrême », et l'éther n'oppose pas de résistance. Leurs actions, dans ce milieu plein, sont régies par le « principe general » ou « Loy generale » stipulant qu'un corps se meut du côté où une moindre pression s'exerce. Cette différence de pression affectant localement les tourbillons trouve son origine dans « la rupture de leur équilibre », principe à la base de « tous les changemens qui arrivent dans le monde ».

Le feu résulte d'une rupture du mouvement de l'éther sous la forme de petits tourbillons, rupture d'une quantité suffisante pour que les « divers mouvemens » qui en résulte agissent sur les tourbillons environnant en leur faisant transmettre de la lumière ; le feu est avant tout, comme chez Descartes, la forme prise par la matière suffisamment agitée, agitation issue chez Malebranche du mouvement libéré par ces ruptures. Par ces « mouvemens » irréguliers Malebranche expliquent l'inflammation de la poudre, les effets du tonnerre, les réactions chimiques. Pour le feu, il fait jouer à l'air un rôle essentiel, une sorte d'instrument favorisant les ruptures à l'instar de la forme des particules constitutives d'espèces chimiques rendant possibles les réactions. Le soleil conçu comme « un amas de tourbillons rompus » est le siège de tels mouvements irréguliers. Ces ruptures et leur entretien sont indispensables au bon fonctionnement du monde par la lumière qu'elles prodiguent.

1 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 268.

2 Ces emboîtements apparaissent chez Molières qui semble en revendiquer la paternité. Voir Partie II, Chapitre II.

3 Ceci n'est pas explicité chez Malebranche ; ça le sera dans les années 1720 notamment par Molières, voir en particulier Partie II, Chapitres III.

4 Voir Partie I, Chapitres I et II, en particulier pour l'explication du « ressort » des corps chez Descartes et du rôle de la conservation du mouvement rectiligne de la matière subtile dans cette explication.

La pesanteur résulte de la différence de densité de tourbillons entre un corps et un volume identique d'air, différence justifiant que la réaction produite au niveau du sol sur des rangées de tourbillons excède la réaction des autres rangées au-dessous du corps qui leurs sont contiguës. Avec ce surcroît de force, l'éther par « sa fluidité & mobilité extrême » se répand au-dessus du corps et le presse vers le bas. La circulation globale de l'éther autour de la planète n'explique donc pas la pesanteur. Par contre, la révolution de couches de tourbillons participe à l'équilibre global de l'univers, condition d'équilibre qui permet de retrouver la troisième loi de Kepler. Cette loi permettant de déterminer la vitesse de l'éther au voisinage d'un astre, laquelle ne correspond pas à la vitesse réelle observée de rotation de cet astre, pour que l'équilibre ne soit pas pris en défaut Malebranche suppose que les petits tourbillons soutiennent ces couches. Sans cet équilibre global en vertu du « principe general » la matière se déplacerait vers l'endroit moins pressé ceci entraînant des hétérogénéités dans l'espace.

A proprement parler, la réflexion et la réfraction ne résultent pas de ruptures d'équilibre puisque la transmission de la lumière exige que des tourbillons d'égales forces s'équilibrent. La présence de corps transparents affecte localement la densité de tourbillons ; la différence de pression, ici due à un nombre inégal de tourbillons, modifie la trajectoire d'un rayon en vertu du « principe general ». La dispersion de la lumière résulte des « forces » différentes des couleurs lesquelles rendent compte de la capacité d'un rayon à persister suivant sa trajectoire incidente. Manifestement, Malebranche associe cette « force » à la promptitude des vibrations sans pour autant justifier cette relation. Lors de l'étude de la réfraction, il évoque « des tourbillons avec très-peu d'air, mais avec beaucoup de parties grossières dont le verre est composé » : s'agit-il d'exprimer que les tourbillons sont chargés des particules issues du matériau ? Certains de ces successeurs considéreront que de tels tourbillons devenant pesants constituent des « atmosphères » et étudieront alors la réfraction en appliquant les règles du choc : celles-ci impliquent une vitesse de propagation dans ce milieu plus petite ceci leur permettant d'établir la loi de réfraction¹. Malebranche considère la vitesse de la lumière infinie et ne recourt donc pas à une telle méthode pour fonder la loi. L'analogie avec le choc intervient pour la réflexion, la réaction des tourbillons proche du verre justifiant le phénomène optique ; le savant n'explicite pas la raison d'une telle réaction².

Tout comme l'explication de la dureté, l'« abrégé » du système cartésien contient des notes marginales et des ajouts invitant à consulter l'*Eclaircissement XVI* qui développe la théorie finale de la matière subtile et des explications physiques. Ce résumé a un statut ambigu, Malebranche n'explicitant pas dans l'*Eclaircissement* les genèses des planètes et celle des corps dits « grossiers » avec ses petits tourbillons, genèses qui dans l'« abrégé » ne reçoivent aucune notes modifiant le récit de Descartes alors que Malebranche critique d'autres passages des *Principes*. Si « l'assemblage » des corpuscules cartésiens donne naissance aux « taches & [...] croûtes » recouvrant les étoiles ou encore à la « matière grossière », comment envisager une telle élaboration avec des petits tourbillons n'offrant aucune prise entre eux en raison de la fluidité de l'éther et avec une matière originelle « molle » ? Si Malebranche écrit dans l'*Eclaircissement XVI* qu'« il y auroit encore quelques endroits à corriger dans l'abrégé que j'ai donné dans la Physique de M. Descartes », il ne précise ni ces « endroits » ni la nature des corrections à apporter³. De la même manière, ses explications des attractions et répulsions des aimants suivent celles avancées par Descartes sans que Malebranche ne précise la nature de la matière magnétique ni son origine cosmogonique⁴.

1 Voir Partie II Chapitre IV.

2 Les tourbillons comprimés réagissent et il serait tentant d'attribuer ceci à leur contact avec les parties solides du verre. Mais ceci reviendrait finalement à affirmer que les rayons se réfléchissent au niveau du verre, thèse que Malebranche rejette.

3 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 305.

4 Malebranche, RDV, VI, II, VIII, p. 400-406. Dans ce texte, Malebranche renvoie à deux reprises à la quatrième partie des *Principes* de Descartes contenant sa théorie magnétique, « non pour suivre aveuglement les sentimens de ce sçavant

L'*Eclaircissement XVI* ne contient par ailleurs que peu d'explications de phénomènes. Malebranche s'en montre conscient : « si j'entrois dans le détail de ces conséquences [celles tirées du système des petits tourbillons] cela me mèneroit bien-tôt dans un pays où je crains de faire un trop long voyage, & où je ne manquerois pas de m'égarer »¹. Son projet ne consiste alors pas à « renverser » le système cartésien mais son « sentiment », à savoir les petits tourbillons, « peut servir à réformer & perfectionner ce qu'il y a de plus général dans son système » (*ibid.*, p. 266). Cette perfectibilité est alors un horizon qu'il laisse en héritage comme le suggère les dernières lignes de l'*Eclaircissement XVI* : « je n'ai pas crû devoir réformer entièrement son système [à Descartes] sur celui que je viens de proposer, qui n'est pas tout à fait conforme au sien, quoique dans le fond il en dépende. C'est aux Lecteurs à faire cette réforme, s'ils ont assez de loisir, & que cette matière leur paroisse agréable, & mériter leur attention, & s'ils jugent que ce que je viens d'écrire soit suffisamment démontré » (*ibid.*, p. 305).

Un certain nombre de savants « jugent » que tel est bien le cas, la réforme malebranchienne étant le point de départ de recherches qui font l'objet des trois chapitres qui suivent. L'*Eclaircissement XVI* a alors autant un statut testamentaire que programmatique.

Philosophe, mais pour s'accoutûmer à sa methode de philosopher ». Malebranche ne donne pas les raisons pour lesquelles il ne faut pas « suivre aveuglément » Descartes, pas plus qu'il ne livre de notes modifiant les explications de Descartes. Sur la théorie de Descartes, voir Partie II, Chapitre IV. Pour un examen de ce passage de *De la recherche*, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie des Sciences*, p. 256-259.

¹ Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 303-304.

**LES PETITS TOURBILLONS AU XVIII^e SIECLE :
EXISTENCE, PROPRIETES ET SYSTEME DU MONDE**

INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est de montrer qu'à la suite de Malebranche des savants développent des systèmes basés sur des petits tourbillons en se réclamant explicitement du philosophe et en particulier en se référant à l'*Eclaircissement XVI* de *De la recherche de la vérité*. L'étude se propose aussi d'examiner les raisons apportées pour justifier l'existence de ces petits tourbillons, les propriétés conférées à la matière subtile et le système du monde auxquels ils donnent naissance.

Nous remarquerons que ces savants réforment la science de Descartes afin de la rendre compatible avec les acquis expérimentaux – en particulier les lois du choc des corps –, et qu'ils éliminent un concept qu'ils jugent superflu et faux, en l'occurrence la force des corps au repos, en s'appuyant notamment sur une méthode qui prône une économie de principes. Nous verrons que pour ces auteurs le fluide « élastique » ainsi conçu est à même de conserver le mouvement dans le monde, ce que ne sauraient faire, selon eux, les corps « durs » et les mouvements estimés « confus » à l'œuvre dans la troisième et la quatrième partie des *Principes de la philosophie*. Nous examinerons enfin les propriétés attribuées à ce nouveau fluide. Au-delà de la réforme, les petits tourbillons se construisent aussi par analogie avec les grands tourbillons de Descartes et ce nouveau système « dépend », selon le mot de Malebranche, de celui des *Principes*. Ainsi, la présence de ces tourbillons dans la physique du XVIII^e siècle est déterminée par ce souci de repenser la physique cartésienne en suivant la voie ouverte par Malebranche.

Outre cette réforme interne à la philosophie mécanique, la révision de la matière subtile cartésienne a aussi pour enjeu de répondre à des objections et ce afin de mieux asseoir le mécanisme. En effet, les petits tourbillons permettent de réfuter des critiques adressées par Newton à l'encontre des mécanismes tourbillonnaires expliquant notamment les révolutions des astres. Nous verrons que les fondations de ce nouveau système se placent sur le terrain même de Newton, celui de la mécanique rationnelle ; à l'aide de propositions et lois expérimentales récentes de mécanique admises par la communauté scientifique, des savants cherchent à prouver l'existence et le bien-fondé des petits tourbillons. Il s'agit alors pour ces auteurs de présenter cette physique comme Euclide présenta la géométrie et de « fixer pour toujours le nombre & la qualité des principes de la Physique »¹. Ce nouvel ensemble déductif repose sur ce constat que « tous les Philosophes s'accordent [...] de tâcher de ramener tous les effets aux principes des Mécaniques » : « Descartes a voulu nous faire entrevoir que tout ce qui s'opere dans l'Univers, pourroit bien n'être qu'un mécanisme perpétuel » et « ce n'est que sur les loix des mécaniques, bien mieux déterminées que Descartes ne l'avoit fait, qu'il [Newton] fonde ses principales assertions, & ses plus fortes difficultés contre le Système du Plein & les Tourbillons de Descartes ». Mais toute la « Physique [de Newton] n'est qu'un [...] mécanisme interrompu » car elle ne recourt pas aux petits tourbillons. Le projet de « rendre le mécanisme continu » passe par une réforme de Descartes et par la mécanique rationnelle, ces deux éléments permettant que les « routes très-opposées en apparence » de Descartes et Newton se croisent².

1 Molières [1734], *Remarques générales*, p. vj.

2 *Ibid.*, p. vij-x.

Rendre le « mécanisme continu » c'est donner des causes mécaniques aux lois mathématiques, en particulier celles énoncées par Newton. Nous verrons que les petits tourbillons se justifient alors dans le cadre d'une épistémologie prônant une physique systémique de type causale, l'usage de ces tourbillons relevant aussi d'une économie et d'une simplicité de principes. Bien que la philosophie mécanique s'avère amendable, le mécanisme des petits tourbillons représente pour certains savants le stade de perfection le plus abouti, sinon ultime, de ce type de physique.

LA REFORME DE DESCARTES : LE REJET DES LOIS CARTESIENNES ET LES PETITS TOURBILLONS

DU REJET DES LOIS A CELUI DES ELEMENTS

La substitution des trois éléments de Descartes par les petits tourbillons se fonde avant tout sur un rejet des lois du mouvement énoncées dans les *Principes de la philosophie* : cette réforme s'appuie alors sur des acquis de l'expérience et sur la critique malebranchiste de la force du corps au repos.

Selon Molières, le principe de conservation d'une même quantité de mouvement, sur lequel Descartes fonde « avec raison » son système, repose sur des « loix qu'il crut pouvoir déterminer selon ses vûës ». Aussi, Descartes énonça ces « principes » que « le repos avoit une force capable de résister au mouvement, & de laquelle il faisoit dépendre la Dureté : Que les mouvemens contraires ne se détruisoient pas par le choc : Qu'un petit corps lorsqu'il en choquoit un grand, retournoit en arriere ou se réfléchissoit sans ébranler le grand »¹. Dès lors, écrit Molières, en reprenant à son compte une remarque de Malebranche, « comptant qu'en vertu de ces principes le mouvement requis à chaque effet [à savoir les diverses explications mécaniques] ne pouvoit lui manquer », Descartes se mit en quête de déterminer « les figures & les grosseurs de la matiere, convenables à la production des effets qu'il consideroit »². D'où ces trois éléments dont les « grosseurs », « figures » et mouvements se conforment aux lois et interviennent dans l'explication des phénomènes.

Le rejet de ces lois, et donc des éléments, se fonde alors sur les acquis de l'expérience qui rendent impossible la permanence du mouvement dans le système de Descartes. En effet, l'expérience infirme presque tous les principes de Descartes en dévoilant que

les mouvemens contraires se détruisent : que le repos ne résiste point au mouvement : que la Réflexion est un effet qui dépend du Ressort phénomène très-composé : que le plus grand corps en repos reçoit du mouvement du moindre petit corps qui le choque : que par conséquent la dureté ne peut procéder du seul repos des parties d'un corps, lesquelles étant très-petites, doivent recevoir du mouvement au moindre effort, & se séparer l'une de l'autre : qu'enfin un mouvement en tous sens, tel que Descartes le suppose dans les parties de son premier & de son second élément, est une pure chimere³.

Dès lors, « les Eléments de Descartes [...] ne peuvent subsister dans la nature selon les loix des mécaniques » et ce « principalement » parce que « les parties de la matiere de son premier élément étant les plus subtiles, quelque vitesse qu'elles eussent pû avoir reçuë dès le

1 Molières [1734], Leçon V, Proposition I, p. 310.

2 *Ibid.*, p. 311. Cette mention selon laquelle « ces principes le mouvement requis à chaque effet ne pouvoit lui manquer » est à rapprocher du propos de Malebranche affirmant que « M. Descartes savoit bien que pour soutenir son système [...] il était absolument nécessaire que les grands corps communiquassent toujours de leur mouvement aux petits qu'ils rencontreraient, et que les petits rejaillissent à la rencontre des plus grands, sans une perte pareille du leur. Car sans cela son premier élément n'aurait pas tout le mouvement qu'il est nécessaire qu'il ait par-dessus le second, ni le second par-dessus le troisième ; et tout son système serait absolument faux », RDV, VI, II, IX, p. 764-765. Voir Partie II, Chapitre I, note 33. En somme, les « principes », « figures », « grosseurs » et mouvements évoqués par Molières forment une profonde unité dans le système cartésien assurant sa cohérence.

3 Molières [1734], Leçon V, Proposition I, p. 314-315.

commencement, auroient dû aussi-tôt l'avoir perduë, en la communiquant aux parties de son second & de son troisième élément qu'il suppose mille fois plus grosses » ; après « un certain nombre de chocs », la matière subtile perd sa vitesse comme le font les « parties de son [Descartes] second élément, par rapport à celles du troisième » (*ibid.*, p. 315-317). Ainsi, parce que les « lois du mouvement » de Descartes se trouvent contraires à l'expérience, « l'idée qu'il [...] a donné des éléments ne peut plus être suivie » car « il n'est pas vrai qu'un petit corps ne puisse en ébranler un plus grand » et, dès lors, ce mouvement attribué aux parties du premier et du second élément « doit nécessairement passer au troisième, & disparaître en un instant dans les deux autres »¹. Comme Newton qui, en s'appuyant sur l'inertie, rendait impensable le mouvement et sa continuation dans le système de Descartes², ce système pour Molières et selon les véritables « lois des mécaniques » conduit inévitablement au repos. Aussi, le « mouvement en tous sens » du premier et second élément qualifié aussi de « confus », impliquant le mouvement des « parties de la matière, qui est impénétrable [...] de droit à gauche [...] de gauche à droit [...] de haut en bas [...] de bas en haut » ne peut perdurer et, comme nous le remarquerons, seuls les petits tourbillons assurent la conservation du mouvement³.

Dans son rejet des lois cartésiennes, et en particulier de son explication de la dureté, Molières s'inspire des arguments de Malebranche. Cette dureté ne peut pas procéder de la force de repos des parties constitutives du corps pour deux raisons. Tout d'abord l'expérience infirme qu'un « petit » corps ne puisse pas mettre en mouvement un plus « grand » contrairement à ce qu'énonce la règle 4 des chocs de Descartes⁴. Par ailleurs, sur un autre registre d'argumentation, supposer une telle force revient à « multiplier les principes » et « introduire dans l'univers deux espèces de forces indépendantes l'une de l'autre, & attribuer l'effet du ressort à une cause arbitraire »⁵. Cette remarque se rencontre chez Malebranche et de Cordemoy, Descartes interprétant la flexibilité à l'aide de l'action de la matière subtile sans toutefois attribuer à celle-ci un rôle dans l'explication de la dureté⁶. Or, la flexibilité ne diffère de la dureté que par degrés, l'une comme l'autre provenant de la pression de l'éther. Aussi, Molières reprend les exemples malebranchiens des plaques de marbres et des sphères de Magdebourg pour rendre compte de la cohésion par le recours à un milieu extérieur comprimant⁷. Il en ressort une préférence pour « une cause purement mécanique » au détriment d'un « je ne sais quoi », là encore expression malebranchienne figurant dans le Livre VI Chapitre IV de *De la recherche*⁸, à savoir la force de repos qualifiée de « cause métaphisique »⁹.

Pour Molières, la « multiplicité de ses [Descartes] suppositions », la « force qu'il attribuoit au simple repos [...] la réflexion à laquelle il n'assignoit aucune cause physique & mécanique

1 Molières [1736], Leçon VI, Proposition I, p. 5-6.

2 Voir Newton, *Principes*, TMC, II, Prop. XXXV, p. 354-357, « Scholie » p. 392-393 et Prop. LII, p. 419-420.

3 Voir Molières [1734], Leçon III, Proposition I, p. 164. Voir aussi Molières [1734], Leçon V, Proposition II, p. 320-321 : « le mouvement qu'il est nécessaire de supposer dans la matière qui compose chacun des grands tourbillons, pour expliquer les phénomènes, ne peut pareillement y subsister, si ses moindres parties se meuvent d'une façon confuse & en tous sens, à moins que ce ne soit en tourbillons ».

4 Molières [1736], Proposition VII, p. 39-40

5 *Ibid.*, p. 39.

6 Voir Partie I, Chapitres I et II.

7 Pour ces exemples, Molières [1736], Proposition VII, p. 41-43. Voir aussi Molières [1736], Leçon VII, Proposition XIV, p. 223-226 : l'expérience prouve que « deux marbres polis » sont aussi fortement attachés l'un à l'autre dans le vide que dans l'air et « la matière éthérée [...] chassée d'entre les deux surfaces contiguës de ces corps, les presse l'un contre l'autre avec toute sa force élastique » qui ne diminue pas dans la machine à vide car cette matière passe librement entre les pores du verre. La « force comprimante » de l'air s'avérant « très-petite par rapport à celle de la matière subtile », elle n'apporte pas davantage de résistance à la séparation, d'où cette égalité de force nécessaire à disjoindre les plaques dans l'air ou le vide. L'air n'est donc pas le seul milieu comprimant, la matière subtile possédant une force incomparablement plus grande. Pour Malebranche, voir Partie I, Chapitre II.

8 Voir Partie I, Chapitre II.

9 Molières [1736], Leçon VI, Proposition VII, p. 43.

[...] ce *mouvement confus* des parties de la matière subtile qui ne lui manquoit jamais en aucune occasion, &c. » suggèrent d'abandonner le système cartésien¹. Par ailleurs, Descartes ne place le premier élément que dans les « espaces angulaires » laissés vacants par le second et la matière subtile ne peut donc pas, par exemple, se « dégager si promptement [...] pour venir produire en un instant des effets aussi étendus que sont ceux de la flamme qui embrase en peu de temps toute une forêt, ou une ville entière »² ; il s'agit-là encore d'une raison avancée par Malebranche³. Enfin, la division actuelle que Descartes admet dans la matière ne peut ni « suffire » ni « répondre à la délicatesse des effets dont nous connoissons le détail beaucoup plus distinctement qu'il n'a pu le connoître », ainsi de la constitution d'insectes que le microscope dévoile⁴. Par cette rénovation du système, la dureté s'explique mécaniquement et ne tient plus lieu de principe : cette réforme fournit directement la cause du « ressort » comme celle de la pesanteur ; le premier élément n'apparaît plus entravé dans son mouvement car il existe partout en remplissant tout l'univers ; le mouvement des éléments perdure et ils agissent sans se nuire ni se confondre⁵. Cette dernière assertion se voit justifiée par les explications de nombreux phénomènes, notamment les explications de la propagation de la lumière et la diversité des couleurs impossibles dans l'hypothèse des corps durs du second élément : Molières s'appuie à nouveau ici sur un argument de Malebranche afin de justifier la substitution du second élément cartésien par des petits tourbillons⁶ ; argument qui aura longue vie, puisque quarante années plus tard, Keranflech écrit qu'

un même tourbillon peut transmettre, sans confusion, plusieurs impressions qui se croisent, puisqu'à raison de son élasticité, dans quelque point de sa surface qu'il soit comprimé, le point diamétralement opposé en sentira le contre-coup [...] Ce qui n'arriveroit pas, sans doute, si le point de croisement n'étoit un tourbillon. Car si c'étoit un corps solide, au lieu de transmettre chaque mouvement distinctement & avec netteté, il en composeroit un nouveau, selon une seule direction⁷.

La critique des éléments vaut aussi pour les « mixtes ». Selon Molières, Descartes ne distingue la matière dont les corps sensibles sont formés, le troisième élément, de celle des deux premiers que par « la grosseur de ses parties & par l'irrégularité de leurs figures »⁸. Mais il s'avère maintenant impossible de ne s'appuyer que sur cette distinction, de même que de concevoir le troisième élément comme seulement un « effet produit sans précaution, ou qui procède du débris des angles des premières parties de la matière » (*ibid.*, p. 16)⁹. En effet, l'observation des phénomènes et les expériences indiquent « une si grande précision, & une constance si marquée dans les opérations de la nature, qu'il est comme impossible de ne pas s'apercevoir qu'elles procèdent d'un ordre très-déterminé dans les causes » (*ibid.*, p. 11). Il faut concevoir les parties du troisième élément comme « une production exquise de l'action des parties du premier & du second élément » (*ibid.*, p. 16). Le « microscope » dévoile la constitution du ciron et laisse imaginer la « délicatesse » des parties fluides circulant dans les

1 Molières [1734], Leçon V, Proposition II, p. 322.

2 *Ibid.*, p. 323. Cet exemple apparaît aussi dans Molières [1736], Leçon VI, Proposition I, p. 6-7. Molières écrit, dans un mémoire de 1729, que le fait que le « ressort » ne puisse pas être « une qualité absolue de la matière, mais un phénomène qui procède d'une certaine disposition de ses parties », et que la matière subtile cartésienne ne puisse « jamais se rencontrer à point nommé en assez grande quantité pour produire le feu » conduisirent Malebranche à substituer au second élément des petits tourbillons. Voir Molières, *Problème physico-mathématique, dont la solution tend à servir de Réponse à une des Objections de M. Newton contre la possibilité des Tourbillons célestes*, MARS 1729 (1731), p. 242.

3 Voir Partie II, Chapitre I.

4 Molières [1736], Leçon VI, Proposition II, p. 7.

5 *Ibid.*, p. 9-10.

6 Concernant l'optique de Molières, voir Partie II, Chapitre IV. Pour cette critique de Malebranche à l'encontre de Descartes, voir Partie II, Chapitre I.

7 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 15.

8 Molières [1736], Leçon VI, Proposition II, p. 10-11.

9 Il s'agit-là de l'explication de Descartes des corps sensibles, voir l'« abrégé » de physique cartésienne dans la Partie II, Chapitre I.

vaisseaux « déliés » (*ibid.*, p. 14-15) ; des parties nécessairement pesantes car le ciron qui se nourrit de ces parties fluides pèse, et la « pesanteur est sans contredit le caractère le plus marqué des parties du troisième élément » (*ibid.*, p. 15). Pour Molières, l'hypothèse d'un mouvement permanent dans toute la matière de l'univers régit selon les lois du choc cartésiennes et la force de repos, voilà de « faux principes [qui] l'empêcherent [Descartes] de voir que les figures qu'il attribuoit gratuitement aux petits corps qui entrent dans la composition des mixtes, n'étoient au fond que de pures chimères, d'effets imaginaires, qui ne pouvoient procéder d'aucune cause réellement mécanique, de la façon que les lois du mouvement nous sont à présent manifestées » (*ibid.*, p. 12)¹. Or, la dureté procède du mouvement et la permanence de ce dernier repose sur la circulation en tourbillons des parties de matière : « supposer sans autre façon, pour cause d'un tel & tel effet, des figures & mouvements dans les parties des mixtes dont on ne connoîtroit ni l'origine, ni la cause mécanique qui les produit, & seulement parce qu'on appercevroit quelque légère convenance entre ces mouvements, ces figures & l'effet qu'on se propose d'expliquer » revient à « introduire [...] des qualités occultes »².

Aux erreurs de Descartes, il faut aussi joindre celles des « Philosophes les plus attachés à Descartes » qui, bien que nourris par les acquis expérimentaux et n'accordant plus crédit à ses lois, continuent

de chercher la cause des effets qu'ils considèrent dans la détermination des figures des parties de la matière qu'ils jugent propre à produire ces effets, sans se mettre en peine de déterminer les mouvements qui peuvent mettre ces figures en jeu, comptant comme Descartes que le mouvement ne peut leur manquer ; Au lieu que c'est plutôt à déterminer distinctement les mouvements, & les causes premières de ces mouvements, qu'ils doivent tourner leur attention puisque ce sont ces mouvements qui ont la meilleure part à la production des phénomènes³.

En l'occurrence, seuls le mouvement circulaire et la forme sphérique de la matière, conséquence de celui-là, trouvent grâce aux yeux de Molières dans la catégorie des causes mécaniques réelles comme en atteste, notamment, la manière dont il détermine la structure des éléments⁴.

Si la critique de Mairan se veut moins systématique, elle s'appuie cependant sur une même source, le *corpus* malebranchien, et conduit à une même conséquence, la nécessité des petits tourbillons. Plus précisément, elle se fonde aussi sur un rejet des lois cartésiennes et en particulier un refus de la force d'un corps au repos. Dans sa *Dissertation sur la glace*, primée par l'Académie de Bordeaux en 1716, Mairan conçoit la formation de la glace par l'action d'un « corps étranger » sur les liqueurs : il estime qu'« il est plus que probable que ce n'est autre chose que la matière subtile même ; cette matière que le commun des hommes regarde peut-être comme chimérique, mais que la plus saine partie des Philosophes admet aujourd'hui, comme la source de tous les changements, & de toutes les variétés de la

1 Voir aussi Molières [1734], Leçon V, Proposition I, p. 311 : « le mouvement requis à chaque effet ne pouvoit lui [Descartes] manquer, il ne se mit plus en peine que de chercher à déterminer les figures & les grosseurs des parties de la matière, convenables à la production des effets qu'il considéroit ».

2 Molières [1736], Leçon VI, Proposition II, p. 13. Cette critique revient dans la Proposition IV. Par cette thèse d'une dureté et d'une consistance tributaires de la force du repos, Descartes « ne se mit pas beaucoup en peine de rechercher distinctement les causes mécaniques qui pouvoient procurer aux parties de la matière qu'il considéroient, les figures qu'il jugeoit à propos de leur attribuer, pour parvenir plus aisément à l'explication des effets », d'où ce « recours sur la seule inspection d'un effet, à des figures bizarres », *ibid.*, Proposition IV, p. 24-25.

3 Molières [1734], Leçon V, Proposition I, p. 317-318. Bien que la critique ne soit pas ici explicite, Molières rejette les « figures » que ceux qu'il nomme les « chimistes cartésiens » attribuent aux corpuscules afin d'expliquer les réactions, comme nous le constaterons au chapitre suivant. Par ailleurs, dans ce même chapitre, nous verrons que le « mouvement » ici évoqué constitue un principe antérieur aux « figures » qu'il permet d'expliquer.

4 Voir Partie II, Chapitre III sur la théorie de la matière développée par Molières.

Nature ; en un mot, comme le ressort de la machine du monde »¹. Après avoir défini les « parties intégrantes d'un liquide » comme celles « qui entrent dans sa composition selon le dernier degré de division actuelle où elles doivent être pour former un tel liquide », Mairan en vient aux « parties » de la matière subtile qu'il nomme « molécules » : celles-ci, contrairement aux liquides, ne consistent pas en de « petits amas de matière composez d'autres parties qui sont en repos les uns à l'égard des autres », mais en « de petits amas de matière extrêmement agitée, ou plutôt comme autant de balons ou de petits tourbillons d'un fluide très-subtil qui tourne autour de leur centre avec une rapidité presque infinie » (*ibid.*, p. 8-9).

Pour Mairan, cette conception repose sur « mille expériences » témoignant que « la matière subtile a du ressort » et, par ailleurs, « si l'on veut raisonner sur des notions claires & distinctes, on ne conçoit pas que les corps puissent avoir d'autre force ni d'autre action que celle qu'ils tirent de leur mouvement » (*ibid.*, p. 9). Il faut associer cette dernière remarque à la critique que Mairan porte à l'encontre de la force cartésienne du corps au repos². En effet, il convient alors d'attribuer à la matière subtile un mouvement « qui puisse lui donner cette force qu'on nomme ressort » et « on peut démontrer qu'il n'y en a point qui y soit plus propre que celui que je viens de décrire, & dont l'idée est dûë à l'un des plus grands Genies de ce Siècle », cette dernière citation portant un astérisque qui renvoie à une note où figure la mention « Le P. Malebr. 16. Eclairciss. sur la rech. de la ver. avec les add. tom. 4. edit. de 1712 » (*ibid.*, p. 9). Dans la page suivante, Mairan rapporte « un autre principe qui [lui] paroît aujourd'hui universellement reçu, & qui doit encore son origine au même Auteur », à savoir que « la dureté des corps, ou la résistance que leurs parties apportent à leur desunion, ne vient que de la matière subtile qui les environne & qui les comprime », un astérisque renvoyant cette fois-ci à « Rech. de la ver. liv. 6. ch. dern. » (*ibid.*, p. 10), ce chapitre où Malebranche critique l'explication cartésienne de la cohésion et rejette la force du corps au repos. La quatrième édition de la *Dissertation* de Mairan publiée en 1749 reprend cette conception de la matière subtile et cette référence à Malebranche : une thèse qui s'avère suffisamment solide pour être reconduite durant toute une carrière scientifique et constituer le fondement d'une œuvre de maturité³. Dans la « Préface » de cet ouvrage, Mairan écrit que « dès qu'on voudra attacher une idée claire & distincte à ce fluide [la matière subtile], on tombera nécessairement dans l'hypothèse des petits tourbillons dont le P. Malebranche a composé sa matière éthérée » (*ibid.*, p. xxvj), en précisant souscrire à la « condamnation » de ce fluide « si l'on entend par-là le premier élément de Descartes sans restriction, & plus encore s'il s'agit de ces globules durs & inflexibles dont il [Descartes] remplissoit l'Univers & que je crois insoutenables » (*ibid.*, p. xvj-xvij).

La fausseté des règles du choc de Descartes suggère aussi à Mazière de remplacer les corps durs par d'autres dits « élastiques » dont le rebond se justifie par l'action des petits tourbillons. Dans la première partie de son mémoire portant sur les lois du choc de corps dits « à ressort parfait ou imparfait » primé par l'Académie royale des sciences en 1726, Mazière donne une « explication probable de la cause physique du ressort »⁴ dans laquelle, comme le précise un traité complémentaire sur les petits tourbillons, il « fait voir par les seuls effets du choc, que l'Univers est rempli d'une matière très-fluide, très-agitée, & composée d'une infinité de Tourbillons de figure spherique, qui produisent tous les ressorts de la Nature »⁵. Mazière note que « M. Descartes a crû que deux corps parfaitement durs, lorsqu'ils sont égaux, & qu'ils se choquent avec des vîtesses égales, doivent rejaillir après le choc avec des

1 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 2. Le détail de l'explication de la cause du gèle donnée par Mairan sera donné dans le chapitre suivant.

2 Voir Partie I, Chapitre III.

3 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1749), p. 19-21.

4 Mazière, *Les loix du choc des corps à ressort parfait ou imparfait*, p. 5.

5 Mazière, *Traité des petits Tourbillons de la matière subtile*, p. 1. Cette citation correspond aussi au sous-titre de ce traité.

forces égales à leurs forces primitives » mais, « à ne juger des choses que sur des idées claires », ces forces doivent se « détruire » et elles ne peuvent pas « renaître » sans une nouvelle cause¹. Ainsi les corps « *parfaitement durs* ou *inflexibles* » ne rejaillissent pas : il faut que leurs « parties intégrantes » subissent des déformations et ils ne rebondissent qu'à condition que ces « parties » se rétablissent dans leur première situation (*ibid.*) Ce retour des corps à leur forme d'origine ne peut provenir que de deux causes : soit des « parties intégrantes du solide », soit des « corpuscules du fluide qui remplit les pores de ces corps ». La première hypothèse nécessite que ces « parties intégrantes » produisent « d'elle-même » un « mouvement en arrière » pour se rétablir. Or, « elles n'ont point de force pour aller dans un sens opposé à celui vers lequel elles ont été poussées ; puisqu'elles sont dans un repos mutuel, soit dans l'instant que la compression commence, soit dans l'instant qu'elle finit ; & que le repos ne produit jamais de mouvement ». La passivité de la matière exclut donc l'action en propre de ces « parties ». Dès lors, « la cause physique [...] est un corps, & un corps en mouvement, car le repos n'a pas de force », soit un fluide dont « le mouvement des corpuscules » à travers les pores assure le « ressort » (*ibid.*, p. 8-9). L'énumération de différentes propriétés de ce fluide (voir ci-dessous), justifie selon Mazière que cette matière subtile se compose nécessairement « d'une infinité de tourbillons qui tournent sur leurs centres avec une extrême rapidité, & qui se contrebalancent les uns les autres, comme les grands tourbillons que M. Descartes a expliqués dans ses principes de Philosophie », Mazière empruntant ici « les paroles de l'illustre Auteur de cette découverte », à savoir le « Père Malebranche dans la recherche de la vérité Eclaircissement XVI » (*ibid.*, p. 17).

LES PETITS TOURBILLONS SELON LE MODELE DES GRANDS ET LA CONSTRUCTION ANALOGIQUE

Mazière puise à nouveau dans l'*Eclaircissement XVI* cette loi suivant laquelle « *tout corps, dit-il [Malebranche], allant du côté vers lequel il est moins pressé ; si quelque partie de l'éther étoit moins pressée que les autres, il est clair que les autres retomberoient sur elle* » : il s'ensuit qu'« on ne concevra jamais que les portions d'une matière extrêmement agitée, & comprimée suivant diverses directions qui ne tendent à un même centre, puissent conserver toutes leurs forces, & se contrebalancer, si elles ne forment divers grands tourbillons ». Mais les principes de tels tourbillons, « qui sont ceux de M. Descartes », invitent à admettre, « en concluant du très-grand au très-petit [...] les petits tourbillons du P. Malebranche ». En effet, Mazière cite à nouveau Malebranche pour qui

toutes les parties de la matière subtile étant extrêmement agitées, se résistant réciproquement par leurs mouvements divers & particuliers, il est nécessaire qu'elles se divisent sans cesse & forment de petits tourbillons ; & dans ceux-ci d'autres encore plus petits, & même encore d'autres moins durables dans les intervalles concaves que laissent entr'eux les tourbillons qui se touchent (*ibid.*)

En somme, « les mêmes raisons qui prouvent qu'il y a de grands Tourbillons, prouvent qu'il y en a de petits »².

Comme l'écrivent Molières, Launay et Keranflech, « l'hypothèse des petits tourbillons » n'apparaît alors que comme « une simple extension de celle des grands tourbillons de Descartes »³. Suivant l'académicien des sciences Etienne Simon de Gamaches, « si les

¹ Mazière, *Les lois du choc des corps à ressort parfait ou imparfait*, p. 7.

² Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 39.

³ Molières [1734], Leçon V, Proposition II p. 324. Voir Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons, mis à la portée de tout le monde & appliqués aux phénomènes les plus généraux*, Paris, C. A. Jombert, 1743, p. 84 : « cette hypothèse [des petits tourbillons], à parler juste, n'est pas une hypothèse différente de celle de Descartes, mais une simple extension du système Cartésien. Descartes avoit eu des raisons, & des raisons très-solides pour admettre les grands tourbillons. Ce sont ces mêmes raisons qui doivent aussi nous engager à en admettre de petits qui composent les grands ».

tourbillons ne sont point une émanation subite de la Toute-puissance de l'Auteur de la Nature », des seuls mouvements « comme au hasard » des différentes parties de la matière

on concevra que de l'association des particules qui éprouveront les mêmes résistances, & dont les mouvemens seront semblablement dirigés, naîtront de toutes parts des Tourbillons plus ou moins étendus, suivant que les courants qui leur donneront naissance, renfermeront plus ou moins de matiere propre¹.

Poussé et repoussant également de toutes parts, un tourbillon s'arrondit et peut se concevoir comme « un fluide renfermé dans une sphère creuse qui s'oppose incessamment à sa dilatation » (*ibid.*) Mais,

pour donner à l'hipotèse Cartésienne toute l'étendue qu'elle doit avoir [...] il faut ajouter les petits tourbillons dont on doit la découverte aux Phisiciens modernes, & que la loi de l'analogie offre à tout esprit attentif. Car si rien n'est ni grand ni petit que par comparaison, & que le même Mécanisme qui distribue le mouvement dans les espaces finis doit pareillement le distribuer dans ceux que leur petitesse nous dérobe, on sent qu'on ne peut remplir l'Univers de tourbillons entassés les uns que les autres, sans s'obliger à reconnoître que l'éther n'est autre chose qu'un assemblage de petits tourbillons composés d'une infinité d'autres plus petits, qui eux-mêmes en renferment de plus petits encore, & ainsi à l'infini ; c'est qu'on ne peut assigner aucunes bornes à la divisibilité de la matiere, & que le moindre atôme est immense en son genre (*ibid.*, p. xxv).

Gamaches ajoute « qu'il faut encore supposer avec M. l'Abbé de Molières, que le fluide qui coule entre les pores de la matiere étherée, n'est de même qu'un amas de petits tourbillons d'un autre ordre que ceux de l'éther, mais élastiques comme eux, puisqu'ils ont leurs forces centrifuges ». Par ailleurs, « l'hipotèse des petits tourbillons est pleinement justifiée par les lumieres qu'elle répand sur les procédés les plus secrets de la Nature ; l'illustre Philosophe que je viens de nommer en fait tous les jours d'heureux essais qui ne prouvent pas moins la justesse des principes sur lesquels il raisonne, que l'étendue de son génie » (*ibid.*, p. xxv-xxvj).

Ainsi, bien qu'avec les petits tourbillons de Malebranche, « on ait déjà divisé la matiere au-delà de l'imagination », Molières « doute » que ce « point de division » suffise, « l'inspection des effets de la nature » imposant de la pousser davantage². Les tourbillons introduits par Malebranche, que Molières nomme « *petits tourbillons du premier ordre*, peuvent être des tourbillons composés d'autres petits tourbillons, [...] *petits tourbillons du second ordre* », ces derniers renfermant aussi ceux d'un troisième ordre et ainsi de suite, « non pas à l'infini : mais tant qu'il sera nécessaire la division & la subdivision actuelle de la matiere pour expliquer les Phénomènes » (*ibid.*, p. 330-331) ; pour sa part, Gamaches, d'après la citation ci-dessus, évoque une division infinie. Molières écrit qu'il semble « naturel » de penser que Dieu dans la construction de l'univers « s'est procuré les mêmes avantages que les Géomètres de nos jours se sont procurés eux-mêmes, dans les dimensions de l'étenduë, en y considerant des infiniment petits de tous les ordres » (*ibid.*, p. 331). Aussi, si la solution de problèmes mathématiques dépend d'un de ces ordres d'infiniment petits,

pourquoi ne pas penser aussi ? qu'il y a dans la nature des effets qui dépendent d'un certain degré de subdivision de la matiere, qui n'auroient pû être produits par sa premiere division ; & pour l'explication desquels on se tourmentera inutilement, tant qu'on n'ira pas jusqu'à la consideration de cet ordre de subdivision dont il dépend ; comme les Géomètres se tourmenteroient en vain s'ils vouloient resoudre les problèmes de la duplication du Cube ou de la trisection de l'Angle, en ne se servant que du cercle & de la

Voir Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons, justifiées par ses usages*, Rennes, Julien & Julien-Charles Vatar, 1761, p. 48-49 : l'hypothèse des petits tourbillons « ne consiste proprement qu'à achever le système de Descartes » ou « développer la même idée [celles des grands tourbillons], & lui donner la perfection dont elle est susceptible ».

1 Gamaches, *Astronomie Physique ou Principes Généraux de la Nature appliqués au Mécanisme Astronomique & comparés aux Principes de la Philosophie de M. Newton*, Paris, C.-A. Jombert, 1740, p. xxj.

2 Molières [1734], Leçon V, Proposition IV, p. 329.

ligne droite ; tandis que ces problèmes ne peuvent être construits & résolus, qu'à l'aide d'une des sections coniques (*ibid.*, p. 331-332)¹.

Les tourbillons du premier ordre forment un « milieu élastique » dénommé « Ether ou Lumière » remplissant tous les grands tourbillons et les intervalles entre eux (*ibid.*, p. 334) ; ceux du second ordre forment un autre « milieu élastique » qui remplit tout l'espace occupé par les précédents et celui qu'ils laissent entre eux, milieu « dont l'élasticité & les autres fonctions seront autant indépendantes de l'élasticité & des autres fonctions du premier milieu, que l'élasticité & les autres fonctions de ces derniers le sont de l'élasticité & des autres fonctions des grands tourbillons. Et ainsi de suite ». L'espace se voit alors composé « de différens milieux élastiques » sans qu'ils « se confondent ni se nuisent l'un l'autre dans aucunes de leurs fonctions », une élasticité dont la « force » ou « promptitude » dépend de la taille des tourbillons (*ibid.*, p. 336-337).

La coexistence de ces différens ordres se justifie tant par cette référence avec les mathématiques que par une série d'analogies permettant de passer du macroscopique (les grands tourbillons) au microscopique. Ainsi, « une image sensible » donne à voir la possible conciliation de plusieurs milieux élastiques au sein d'un même fluide. Molières suppose « un grand bassin plein d'eau » dans lequel « tout d'un coup avec plusieurs bâtons un grand nombre de petits tourbillons » sont formés². Il suppose que leurs mouvements se conservent, à l'instar « des grands tourbillons du Soleil & des Etoiles fixes » et que, par ailleurs, « les moindres parties de l'eau sont elles-mêmes chacune un petit tourbillon »³. Ces deux ensembles de tourbillons d'eau exemplifient alors « différens ordres de petits tourbillons »⁴ présents dans l'éther. En plongeant dans l'eau calme « un corps compressible dont les pores soient trop étroits pour donner passage aux molécules d'eau », celle-ci composée de « tourbillons insensibles » forme un « milieu élastique » qui comprime cette matière. L'agitation provoquée par les bâtons donne naissance à « un second milieu élastique dans le premier, qui aidera à comprimer le même corps ». Un autre corps aux pores suffisamment larges pour laisser s'infiltrer les « molécules » d'eau ne subit que l'action des « tourbillons sensibles » dont « l'élasticité est incomparablement moindre » que celle du premier milieu. Tout ceci permet alors de saisir « comment différens milieux élastiques de l'éther emboîtés, pour ainsi dire, les uns dans les autres, & contenus dans un même espace, pourront comprimer un corps conjointement ou séparément, suivant la grandeur des pores de ce corps par rapport aux molécules qui composent des différens milieux »⁵.

Dans ses pages dévolues à la chimie, Molières défend « l'architecture fine & délicate » qu'il attribue « aux éléments chimiques » en notant qu'il ne fait que « transporter » à la chimie « le mécanisme que nous sommes comme forcés d'admettre dans le tourbillon solaire » et qu'il n'a « proposé autre chose dans la structure de ces éléments que ce que nos yeux voyent à découvert dans le système de Jupiter & de Saturne ». Il revendique d'autant plus « le droit d'y transporter [dans la chimie] un mécanisme certain démontré par l'expérience du ciel » que les chimistes introduisent « la mécanique des coins, des leviers » et imaginent « des pointes, des guaines » pour la forme de leurs corpuscules. Il ne recourt pour sa part qu'à des « mouvemens circulaires de petits corps autour d'un centre » et à « une structure par tout uniforme » : en effet, dans la théorie de Molières tous les « élémens [chimiques] se ressemblent, ils ne diffèrent entr'eux que du petit au grand [...] Toutes ces

1 Pour autant, précise Molières, « il n'est pas nécessaire de supposer » que la différence entre deux tourbillons d'un ordre différent soit un infiniment grand.

2 Molières [1736], Leçon VI, Proposition X, p. 57. Ce même exemple du bassin rempli d'eau apparaît dans Molières [1737], Leçon XII, Proposition IX, p. 197-199.

3 Molières [1736], Leçon VI, Proposition X, p. 58.

4 Molières [1737], Leçon XII, Proposition IX, p.196.

5 *Ibid.*, p. 197-198.

molécules ne sont en général que *des petits tourbillons composés d'autres petits tourbillons, qui ont à leur centre un globule dur & pesant* ». Seules les tailles respectives des molécules diffèrent et celles des huiles se distinguent de celles des sels que parce que les premières transportent des « masses dures », « moins denses & moins pesantes » que les corpuscules qu'entraînent les autres¹.

Un tel mécanisme « est rendu sensible & comme démontré aux yeux dans les mouvements célestes, & la matière étant divisible à l'infini, on ne peut refuser d'accorder aux petits tourbillons les mêmes attributs que l'on voit exister dans les grands »². Keranflech propose aussi une « analogie qui marche d'elle-même » : « on ne voit rien de plus simple & de plus naturel que les révolutions des planètes autour du soleil, celles des satellites, ainsi du reste. Pourquoi donc ce qui est naturel dans les grands tourbillons, ne le seroit-il pas dans les petits ? »³ En l'occurrence, ceux-ci peuvent posséder des « masses centrales » à l'instar des planètes aux centres de grands tourbillons, des « satellites de satellites de tous les ordres », ou bien encore une fois « appesantis & rabattus par la pesanteur », ils peuvent tomber vers le centre d'un astre et former des corps sensibles de la même manière dont se formèrent les planètes par des assemblages de matières originelles pesantes⁴. Mêmes « exemples sensibles » tirés de la mécanique céleste chez Mazière pour justifier que les « corpuscules [de la matière subtile] doivent décrire de très-petits cercles [...] avec de très-grandes vitesses »⁵.

Aussi, porter « dans le petit [...] l'analogie de ce qu'il [l'esprit] voit dans le grand » permet selon Keranflech de définir « la manière d'étudier la Physique »⁶ ; « ce n'est que quand la Nature travaille sur un grand sujet, que nous pouvons attraper sa méthode & son style ». En l'occurrence, il s'agit de « transporter » le « système du monde » développé pour les cieux (les grands tourbillons entraînant des planètes avec certaines des satellites, la manière dont ils « s'emboîtent » et se « balancent »), dans « les moindres parties » de l'univers. La nature « s'est dévoilée dans le système des Cieux » et avec « ce système nous voyons sa méthode ». L'expérience, à elle seule, ne permet pas de remonter aux « premiers principes » des choses : la décomposition de la matière de chimistes conduit à la résoudre « en d'autres matières encore plus inconnues » qui échappe aux sens ; les connaissances acquises selon une telle méthode conduisent ainsi à engranger des effets sans toutefois remonter aux causes. La « voie de l'expérience » apporterait son lot de savoirs « si la division actuelle de la matière n'excédoit pas la portée de nos sens, & si nos sens nous étoient donnés pour apprendre la Physique » : s'il faut interroger la nature par l'expérience, « il ne faut l'interroger que sur [des] choses qu'il [le Créateur] veut bien que l'on sache ». Or,

il nous laisse voir tout le système solaire : il l'a déployé à nos yeux ; & il ne nous empêche point de raisonner. Peut-être, est-ce tout nous dire. S'il a suivi ce système en toutes choses ; il n'en falloit pas dire davantage. C'est à nous à-présent à raisonner, & à nous servir de ce grand spectacle où tout est étalé avec magnificence, pour nous faire jour dans les petites choses, & pour éclairer ce qu'on ne peut voir que par les yeux de la raison⁷.

Une autre image rend compte de la possibilité d'une construction des éléments chimiques à l'aide des petits tourbillons. Face à d'éventuelles critiques dénonçant leur « construction trop

1 Molières [1737], Leçon XII, Proposition IX, p. 204-206. Pour le détail de la chimie de Molières et sa critique d'une chimie corpusculaire basée sur des corps ayant des formes « de pointes, de guaines », voir Partie II, Chapitre III.

2 *Ibid.*, p. 206. Un argument semblable apparaît dans Molières [1736], Leçon VIII, Proposition IV, p. 254-255.

3 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 59-60.

4 *Ibid.*, p. 60.

5 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 34. Mazière livre comme « exemples sensibles dans les fluides agitez » des « mouvements circulaires » ceux visibles « sur les Mers & sur les Rivières » ; ceux que « le Feu [...] produit [...] dans les liquides » ; ceux de « l'Air poussé en divers sens [qui] tourne en rond avec la poussière qu'il entraîne » ; enfin ceux dont résultent les rotations et révolutions de la Terre, de Saturne, de Jupiter, de leurs satellites etc., *ibid.*, p. 35.

6 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 226.

7 *Ibid.*, p. 227-230.

délicate » et affirmant que « c'est pousser trop loin la division actuelle de la matière »¹, Molières oppose l'exemple « d'une division qui surpasse » celle envisagée en chimie : toutes les parties organiques d'un chêne, dont les racines et branches occupent « un si grand espace », se trouvaient dans « le germe, qui est un point insensible enfermé dans le gland » et « n'ont fait que se développer & s'étendre au moyen du suc que les racines du chêne ont tiré de la terre ». Ainsi, « on ne peut plus refuser d'admettre la division actuelle [en chimie] sous prétexte qu'on ne peut que difficilement l'imaginer » (*ibid.*, p. 277-278). Cet exemple de l'emboîtement des germes, présent chez Malebranche, rejoint celui du ciron, ou du « moindre corps organisé », à partir de l'observation duquel « on conviendra sans peine qu'on ne peut pousser trop loin la division actuelle & permanente de [la] matière »². Selon Mazière, un « corpuscule d'air [...] pourra contenir un million de corpuscules de matière subtile, quoiqu'il soit peut-être lui-même un million de fois plus petit qu'un Ciron » ; ces corpuscules n'apparaissent pas sous les microscopes, alors que ceux-ci dévoilent déjà dans les « liqueurs des animaux qui sont des millions de fois plus petits qu'un Ciron ». Ceci légitime la possibilité que la matière subtile se compose « de corpuscules très-petits, qui puissent suivant les différents besoins, être divisés sans aucune peine, & subdivisés en d'autres plus petits à l'infini »³.

Mazière écrit faire « quelques expériences sur le Mercure » pour « représent[er] aux yeux imparfaitement, sous une image sensible, les Tourbillons de l'Ether »⁴. Dans une boule de verre creuse remplie d'eau de « quatre pouces de diamètres ou environ », il verse « quelques gouttes de Mercure, d'environ la grosseur d'un pois » puis remue le tout « en divers sens, à diverses reprises, avec différents degrés de mouvement ». S'ensuit plusieurs observations : « la rondeur sphérique des Tourbillons, sur-tout des plus petits, qui seront rendus sensibles sous la figure du Mercure » ; l'aplatissement des plus grands et l'équilibre de l'ensemble ; un tourbillon « se rompt sans peine en cent autres » lesquels en reforme un seul lorsque le mouvement cesse ; un petit tourbillon peut en « contrebalancer » de plus grands etc. Mais « les yeux d'un Physicien » doivent tenir compte de « l'imperfection des Tourbillons du Mercure », de « leur pesanteur », de « leurs frottemens contre les parois du Verre », de « la résistance de l'Eau », de « la grossièreté de leurs parties integrantes » ; autrement dit, un observateur se montre conscient des « différences infinies qui distinguent un fluide très imparfait [l'eau], de celui dont tous les autres doivent emprunter & leur fluidité & leur force [la matière subtile] »⁵.

LA CONSERVATION DU MOUVEMENT

Ainsi, réformer le système cartésien ne signifie pas faire table rase. En l'occurrence, il faut « pousser plus loin les premières vûes de Descartes » en transportant « l'idée de ses tourbillons aux moindres parties de la matière ». Les globules cartésien du second élément deviennent des « petits tourbillons qui se balançant entr'eux forment un milieu élastique qui remplit tout l'univers », et le premier élément des petits tourbillons situés dans les intervalles laissés vacants par les précédents et remplissant les espaces que ce second élément occupe, car celui-ci se compose « d'un amas de ces petits tourbillons du premier élément »⁶. Dès lors, la perpétuité du mouvement circulaire des grands tourbillons entraînant les planètes se

1 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition IX, p. 276.

2 Molières [1736], Leçon VI, Proposition II, p. 14. Pour cet exemple de l'arbre et du ciron voir notamment Malebranche, RDV, I, I, VI, p. 24-25. Sur l'infinie petitesse de corps et l'emboîtement des germes chez Malebranche, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie des Sciences*, p. 378-391.

3 Mazière, *Les loix du choc des corps à ressort parfait ou imparfait*, p. 14.

4 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 32.

5 *Ibid.*, p. 31-32.

6 Molières [1736], Leçon VI, Proposition I, p. 8-9.

transfère aux petits tourbillons réglant ainsi le problème de la perte de mouvement dans le système cartésien. En effet, l'idée cartésienne des grands tourbillons « n'est pas, dans le système du Plein, une simple hypothèse arbitraire » mais « l'unique moïen qu'il y ait d'introduire le mouvement dans la matiere d'une façon durable », celle-ci ne pouvant « se mouvoir en tous sens en lignes droites »¹. Molières remarque que « la nécessité qui a obligé ce Philosophe d'avoir recours aux grands tourbillons pour introduire le mouvement dans l'univers de façon durable, n'[est] pas moindre pour l'introduire dans la matiere dont ces grands tourbillons sont formés ». Dans le « système du Plein », les petits tourbillons s'avèrent alors aussi nécessaires que les grands puisqu'ils constituent « le seul moïen qu'il y ait eu d'y [le système] introduire le mouvement »². Ainsi,

le mouvement qu'il est nécessaire de supposer dans la matiere qui compose chacun des grands tourbillons, pour expliquer les phénomènes, ne peut pareillement y subsister, si ses moindres parties se meuvent d'une façon confuse & en tous sens, à moins (Pr. 2.3) que ce ne soit en tourbillons³.

La Proposition II de la Leçon III (« Pr. 2.3 ») concerne la naissance des grands tourbillons : que Molières invite à la consulter pour justifier l'origine des petits tourbillons montre à quel point les mêmes principes valent pour les uns comme pour les autres et qu'il n'y a en la matiere qu'un changement d'échelle. D'après la Proposition I de cette Leçon III, l'impossibilité d'une continuation du mouvement en ligne droite comme celui en « lignes courbes qui se croisent » dans le plein résulte de l'impénétrabilité de la matiere et des chocs conduisant à des pertes de mouvement : un « mouvement aussi confus » s'avère « inutile par conséquent à la génération constante & perpétuelle des effets de la nature ». *A contrario*, le mouvement de « tourbillons sphériques ou elliptiques » ne requiert pas le vide pour perdurer, les « parties de matiere » se mouvant selon des lignes qui « rentrent [...] en elles-mêmes »⁴. D'après la Proposition II, la « manière la plus simple » de concevoir « l'introduction du mouvement dans le Plein » consiste à distinguer dans cet « espace impénétrable » un ou plusieurs globes en rotation autour d'un de leur diamètre : « tous les points de la superficie d'un globe étant à une égale distance de son centre ; ce globe dans quelque situation que ce mouvement le mette, n'exige pas plus de distance dans l'une que dans l'autre situation » et « il n'est nullement nécessaire, pour concevoir ce mouvement, d'avoir recours au Vuide »⁵. Un tel mouvement peut pareillement se concevoir dans toute « l'étenduë de chacun de ces premiers globes » : la matiere de ceux-ci peut elle aussi « être transformé[e] en autant de Tourbillons sphériques placés d'espace en espace, dans une matiere homogene, dont les parties sont en repos, & ne résistent point au mouvement ; [...] ils se seront agrandis sans changer leur forme sphérique, jusqu'à ce que venant à s'entre-toucher, ils aïent enfin formé un espace [...] rempli de Tourbillons [...] qui se balanceront mutuellement »⁶. Si de tels tourbillons correspondent aux « très-grands tourbillons » dont Descartes remplis l'univers, un tel système vaut aussi pour les petits tourbillons : pour chacun d'entre eux, la possibilité d'un mouvement comme sa conservation repose sur le même mécanisme. Comme l'écrit Launay,

il est certain que les moindres parties d'un fluide ne peuvent être en un mouvement continuel & durable, si elles n'ont la forme de tourbillons. Car pour que le mouvement des parties d'un fluide soit durable, il faut que ces parties ne se rencontrent pas, qu'elles ne se choquent pas à tout moment en sens contraire ; en un mot, qu'elles ne se meuvent pas, selon toutes sortes de déterminations opposées. Car c'est un principe reçu de presque tous les Physiiciens modernes, & prouvé par l'expérience, que les mouvemens contraires

1 Molières [1734], Leçon V, Proposition I, p. 318-319.

2 *Ibid.*, Proposition I, p. 324.

3 *Ibid.*, p. 319-321.

4 Molières [1734], Leçon III, Proposition I, p. 164-165.

5 *Ibid.*, Proposition II, p. 165-166.

6 *Ibid.*, p. 166-167.

se détruisent. Or il est évident que si les parties d'un fluide ne se meuvent pas en tourbillon, elles se mouvront en une infinité de directions opposées, elles se choqueront à tous momens en sens contraires, & auront par là bien-tôt perdu leurs mouvemens¹.

Cette thèse d'une conservation du mouvement impliquant nécessairement les tourbillons figure aussi chez Mazière, Lozeran du Fesc, Keranflech². Il importe de souligner, comme le fait Keranflech, que si tous les mouvements contraires se détruisent comme le mentionne les auteurs précités, ceci ne signifie pas qu'ils conçoivent dans leur système la matière dure et que le choc ait alors pour conséquence un repos, mais ils se placent ici « dans un tems où l'élasticité n'avoit point encore lieu », celle-ci provenant justement de la mise en tourbillons de l'éther³. Autrement dit, de telles réflexions portent avant tout sur la possibilité d'existence et de persistance du mouvement en considérant la genèse du système, mouvement qui assure par ailleurs l'élasticité des corps⁴.

Selon Molières, l'unique raison pour laquelle Descartes n'a pas généralisé son hypothèse des tourbillons, et alors conçu ses éléments à l'aide de petits tourbillons, tient à cette conviction que le mouvement de ces derniers ne pouvaient pas se conserver. En effet, « on s'imaginait qu'un Tourbillon ne pouvoit avoir autant de force du côté des Poles, que du côté de l'Equateur ; & l'on craignoit que ceux des Tourbillons environnans, qui pressoient celui-ci par ces endroits foibles, ne dussent l'enfoncer jusqu'au centre, & le détruire en peu de tems » ; mais les points voisins des pôles possèdent autant de « force pour s'éloigner du centre » [de la sphère] que ceux situés à l'équateur⁵. Dès lors, Descartes craignait ainsi que « si les petites parties, dont ses élémens devoient nécessairement être composés, eussent été de petits tourbillons ; ces petits tourbillons, dans la grande agitation qu'il devoit nécessairement attribuer aux parties de ses éléments, n'auroient jamais pû conserver l'arrangement particulier qu'il croïoit être nécessaire à leur conservation »⁶. Cependant « un tourbillon sphérique se defend de toute part avec une égale force », à savoir sa force centrifuge, et peut donc subsister parmi d'autre⁷. En somme, Molières estime que Descartes

1 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 86-87. Voir aussi p. 317 : « le mouvement ne peut être constant & uniforme dans les moindres parties d'un fluide, si elles n'ont pas la forme de tourbillon ; car si elles se mouvoient autrement, elles ne pourroient manquer de se rencontrer à chaque instant, & de perdre par-là le mouvement qui leur est nécessaire afin qu'elles forment toujours un fluide ».

2 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 36 : « il est nécessaire que les corpuscules de la matiere subtile, puissent en même tems avoir des mouvemens divers & mêmes contraires ; & que cependant ces mouvemens ne diminuent pas [...] Il faut donc concevoir que ces corpuscules puissent, sans se choquer, se résister mutuellement par leurs forces centrifuges ; de telles sortes que deux corpuscules qui se touchent, l'un ne l'emporte pas sur l'autre ; car si l'un l'emporte sur l'autre, il n'y aura plus d'équilibre. Et comment allier toutes ces idées, si l'on ne reconnoît que la matiere subtile est composée d'une infinité de Tourbillons, ou de spheres très-fluides de toutes sortes de grandeurs, qui remplissent l'Univers, & se contrebalancent par leurs forces centrifuges ? ». Voir Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, Bordeaux, P. Brun, 1733, p. 38 : un mouvement « ne peut se conserver dans les petites parties d'un liquide, qu'autant qu'elles forment par tout de petits tourbillons qui se contre-balançant avec des forces égales, ne s'en communiquent rien les uns les autres, & par consequent les gardent toujours ; car si les petites parties des corps ne parviennent pas à former ainsi des petits tourbillons, il est clair que les chocs continuels & réitérez de ces parties, dans leurs rencontres mutuelles, doivent enfin y amener une sorte d'uniformité de mouvement, & ensuite le repos respectif ». Voir Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 48-49 : « les conditions de leurs mouvemens [ceux des grands tourbillons], de leur équilibre, de leur compression, de la conservation de leurs interstices, seroient toujours les mêmes quand ils seroient plus petits » et ainsi, « n'étant pas moins nécessaire que le mouvement soit durable dans le détail de la Nature que dans le gros de l'Univers [...] la raison qui a fait partager l'immensité du monde en grands tourbillons, doit aussi faire donner la même forme aux moindres molécules de matière » ; voir aussi p. 33-34.

3 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 33.

4 Ceci ne renseigne cependant pas sur la nature physique de cette matière originelle ; nous reviendrons sur cette question dans le chapitre suivant.

5 Molières [1734], Leçon III, Proposition III, p. 168-169. Descartes suppose les pôles d'un tourbillon en contact avec l'équateur d'autres et ce afin d'empêcher les contrariétés des mouvements de la matière composant des tourbillons, voir Descartes, *Principes*, III, AT IX, art. 65 à 67, p. 136-138.

6 Molières [1734], Leçon V, Proposition II, p. 319-320.

7 *Ibid.*, p. 320.

n'a pas généralisé les tourbillons faute d'avoir suffisamment approfondi « les loix des forces centrifuges »¹ qui président à l'équilibre général du système du monde.

Un argument semblable apparaît chez Mazière qui estime que « rien n'empêche [...] que les Tourbillons ne puissent se toucher aussi-bien à leurs poles qu'à leurs équateurs ; soit, 1°. qu'ils tournent dans le même sens ; soit, 2°. qu'ils tournent en sens contraire »². Contrairement à l'opinion de Descartes, ces tourbillons ne « doivent [pas] s'incorporer dans le premier cas, & se détruire dans le second » car « si l'on admet l'idée des Tourbillons grands & petits, ce sont des spheres de toutes sortes de grandeurs, qui remplissent l'Univers, qui se touchent dans tous les points physiques de leurs surfaces ; enfin qui peuvent se toucher aux poles comme par tout ailleurs, puisqu'ils ont autant de forces centrifuges à leurs poles, que dans le reste de leurs surfaces »³.

Les tourbillons permettent ainsi d'envisager la permanence du système que le mouvement « confus & en tout sens » des parties de la matière constitutive des grands tourbillons ne saurait expliquer. L'absence de généralisation des tourbillons chez Descartes provient de ce qu'à son époque « on ne sçavoit rien des forces centrifuges »⁴ ou, comme l'écrit Keranflech qui reprend le raisonnement ci-dessus de Molières et de Mazière, qu'il n'a pas percé le « secret des forces centrifuges », cette dernière formule apparaissant chez Malebranche⁵. Ainsi, avec « raison le P. Malebranche a transformé les petits globules durs » de Descartes⁶.

L'UNIVERS ET SES BORNES

La genèse des grands tourbillons est indissociable de celle des petits et les mêmes « principes » régissent les uns et les autres. La mobilité de la matière et son impénétrabilité appellent à des divisions de la matière originelle et à des formations en tourbillons. Une fois les tourbillons formés, l'implicite repose sur le fait que la matière ne puisse pas s'étendre à l'infini et ainsi perdre sa mobilité, le système devant tendre vers un équilibre global ; cet ensemble est donc en quelque sorte clos, l'équilibre sous la forme de tourbillons provenant des pressions aux bornes de cet ensemble et de celles internes aux parties de l'éther. Nous notions, pour Malebranche, la dimension métaphysique d'une telle compression globale du système qui manifeste la puissance du Créateur ; l'image d'un bassin rempli d'eau matérialise cette pression⁷. Cette clôture physique apparaît notamment chez Molières et Gamaches, le premier suppose un « espace solide »⁸ renfermant plusieurs grands tourbillons, le second une « sphère creuse » emplie de fluide ; il s'agit alors de donner une « image sensible » à une explication et les expériences menées sur les fluides ne sont sans doute pas étrangères à ce genre de raisonnements⁹. Les limites du bassin posent la question des bornes du monde et, s'il faut admettre que le tourbillon solaire soit « retenu par d'autres tourbillons environnans », eux-mêmes « retenus par d'autres plus éloignés du Soleil ; & ainsi de suite », ceci perdure

1 Molières [1736], Leçon VI, Proposition I, p. 4.

2 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 38.

3 *Ibid.*, p. 39.

4 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 3.

5 *Ibid.*, p. 37-38 : « un tourbillon sphérique est également fort, ou se défend également contre son voisinage, de toutes parts : Grand principe, qui fut inconnu à Mr. Descartes, & dont la connoissance auroit donné une autre perfection à son système. Car, faute de connoître cette vérité, cet Auteur crut que ses tourbillons n'étoient pas si forts vers les poles, & qu'ils avoient besoin de s'arranger entr'eux d'une façon particulière pour subsister. Il ajusta donc, pour le mieux, les équateurs des uns aux poles des autres, &c. Mais le secret des forces centrifuges étant aujourd'hui révélé, on sçait qu'il est indifférent, pour la subsistance d'un tourbillon sphérique, de lui donner telle situation ou de lui en donner telle autre ». Sur cette expression « secret des forces centrifuges » chez Malebranche, voir le chapitre précédent.

6 Molières [1734], Leçon V, Proposition II, p. 320-321.

7 Voir le chapitre précédent.

8 Molières [1734], Leçon III, Proposition IV, p. 174.

9 Voir Molières [1736], Leçon VI, Proposition X, p. 57-64, Molières [1737], Leçon XII, Proposition IX, p. 197-199 et Molières [1739], Leçon XX, Proposition II, p. 436-440.

« jusqu'aux bornes que l'auteur de la nature aura voulu mettre à son ouvrage »¹. Mazière écrit qu'« une matière très-fluide qui a un mouvement infiniment rapide, s'échaperait infailliblement au-delà de ses bornes, si elle n'y étoit contenue ou comprimée par une main invisible. La force de la matière subtile répond à la force avec laquelle elle est comprimée ; & la force avec laquelle elle est comprimée, répond à la toute puissance de celui qui la comprime, en la manière & suivant les directions qu'il lui plaît »². La réponse à ce problème de la cohésion du système global repose sur un autre registre que scientifique et

si Dieu qui la [la matière subtile] créée cessoit un instant de la conserver, ou de la comprimer ; les Astres n'auroient plus de lumière, ni de mouvement ; le feu perdrait sa chaleur, l'eau sa liquidité, & l'aimant toutes ses vertus ; l'air que nous respirons se réduiroit à un amas confus de lames spirales sans aucune force ; les corps n'auroient ni dureté, ni ressort, ni fluidité, ni pesanteur ; ils ne tendroient plus vers le centre de la terre ; & la terre elle-même que deviendrait-elle ? Otez la matière subtile, l'Univers entier disparaît³.

Bertier note qu'en supposant des tourbillons « qui seroient à l'extrémité de l'Univers », celui-ci « se débanderoit bien-tôt & se dissiperait » et retournerait dans « son ancien cahos » sous l'effet des forces centrifuges « contenue[s] par rien du côté où il n'y auroit point de tourbillon »⁴. Il récuse que Dieu contienne « immédiatement » cette tendance d'expansion, puisque « Dieu n'agit sur les corps que par d'autres corps » (*ibid.*, p. 130). Bertier soutient alors que le plein nécessite un univers sans bornes comprenant « une infinité de tourbillons » : « il n'y a point de derniers tourbillons, & [...] ainsi ils se contiennent tous les uns les autres » (*ibid.*, p. 130-131)⁵.

LES PROPRIETES DE LA MATIERE SUBTILE

Que la matière, à partir d'un mouvement originel, puisse se conformer en petits et grands tourbillons implique un univers plein, une matière impénétrable – l'impénétrabilité assurant la possibilité d'une « impulsion » –, passive – seul le mouvement est à l'origine d'une action –, divisible⁶. Les premières pages des traités de Molières, Mairan, Gamaches ou Launay s'ouvrent sur la question de l'essence des corps identifiée à l'étendue⁷. Dès lors, « toutes leurs

1 Molières [1739], Leçon XV, Proposition II, p. 10.

2 Mazière, *Les lois du choc des corps à ressort parfait ou imparfait*, p. 16.

3 *Ibid.*, p. 16-17. Nous revenons dans le chapitre suivant de cette partie sur cette conception de l'air comme composé de corpuscules ayant la forme de petites « lames spirales », cette forme devant expliquer l'élasticité de ce milieu.

4 Bertier, *Principes physiques*, t. I, p. 129-130.

5 A l'appui de cette absence de bornes, l'auteur évoque notamment les observations astronomiques conduisant à découvrir davantage d'étoiles ou encore que « c'est penser peu noblement & peu dignement de la sagesse & de la toute-puissance de Dieu, que de la restreindre à un monde borné ; car il est de la sagesse d'un Ouvrier de faire son ouvrage le plus beau & le plus grand qu'il lui est possible. Pourquoi donc le Constructeur de la machine de l'Univers auroit-il borné le sien, pouvant le faire sans bornes ? », *ibid.*, p. 133-143.

6 Il s'agit là des caractéristiques générales de la matière énoncées dans Molières [1734], Leçon I, Proposition II, p. 5-6. Nous reviendrons sur cette impénétrabilité dans le chapitre suivant.

7 Molières [1734], Leçon I, Proposition II (« Demande, ou Système général »), p. 4 : « L'Univers sensible a pû d'abord n'avoir été formé que d'un seul & même Espace homogène, ou partout semblable à lui-même, que l'on nomme *Matière* : *Étendue* en longueur, largeur & profondeur ». Mairan, *Dissertation sur la cause de la Lumière, des Phosphores & des Noctiluques*, Bordeaux, R. Brun, 1717, p. 20 : « on ne [...] trouve [à la matière] rien d'essentiel que l'étendue ; car elle peut passer par tous les états, & par toutes les modifications imaginables, & les perdre toutes successivement ; mais elle ne sauroit cesser d'être étendue sans cesser d'être matière ». Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 4-5 : « comme il n'y a point de matière qui ne soit étendue, il faut nécessairement que l'étendue soit un mode des corps, ou qu'elle soit elle-même la substance ; mais il est certain d'un autre côté que l'étendue peut être aperçue seule, qu'on peut penser à des espaces, qu'on peut se les représenter, sans que l'idée qu'on s'en forme tienne par elle-même à aucune autre idée : l'étendue ne doit donc point être mise au rang des simples modalités ; c'est donc une substance ; c'est donc la substance même des corps ». Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 11 : « nous ne jugerons pas qu'il puisse y avoir un espace étendu, qui soit réellement distingué de ce que nous appelons *corps*. En effet, qu'on conçoive de l'étendue toute simple sans l'imaginer revêtue des qualités accidentelles qui frappent nos sens ; alors on aura l'idée de ce qui est essentiel aux corps ». Voir aussi p. 13 : « admettre une (sic) espace réel & le distinguer du corps, c'étoit se contredire formellement, & nier que la matière fût matière ».

propriétés se réduisent à des figures, & à des changemens de rapports de distance ; car l'idée de l'étendue ne nous offre rien de plus »¹. Une explication physique ne doit donc pas s'écarter des « idées claires de l'étenduë, de la figure & du mouvement »². La passivité de la matière implique que les « changemens » ne surviennent qu'à partir d'un mouvement : ainsi, lors du choc de corps, le rebond résulte du « mouvement des corpuscules du fluide [l'éther] qui coule dans [leurs] canaux »³ ; pour expliquer la formation de la glace, puisque « aucune sorte d'estre, & par consequent aucun corps, ne pouvant changer que par l'action d'une cause étrangere, il faudra examiner ici quelque chose de plus que le liquide, & la Glace, & reconnoitre necessairement d'autres corps ou une autre matiere, soit visible, soit invisible, qui détermine les liquides à perdre leur liquidité, & à recevoir cette nouvelle modification qu'on appelle Glace » ; aussi, « on ne conçoit pas que les corps puissent avoir d'autres forces ni d'autre action que celle qu'ils tirent de leur mouvement »⁴. Un tel milieu, « source [...] de toutes les varietez de la Nature » constitue le « ressort de la machine du monde »⁵. Ce caractère primordial requiert d'en dévoiler les propriétés afin de détailler les explications physiques de phénomènes particuliers : celles-ci consistent alors en l'homogénéité, la fluidité, le « ressort » et l'absence de résistance de la matière subtile avec une matière originelle « molle » et « infiniment fluide ».

MATIERE MOLLE ORIGINELLE

Le caractère « mol » de la matière originelle, autrement dit les parties facilement sinon infiniment séparables de la matière avant sa conformation en petits et grands tourbillons, apparaît chez Malebranche dans ses règles du choc ou dans son système du monde : il résulte de l'absence de force de repos des parties constitutives de la matière⁶. Lozeran du Fesc parvient à la conclusion que les corps « en eux-mêmes avec leurs modalitez individuelles » sont « infiniment mols, ou ne resistent point à la separation de leurs parties »⁷. Face aux critiques que la matière pensée comme « infiniment molle » ne saurait former ni grand ni petits tourbillons, puisqu'une telle genèse suppose une résistance⁸, Molières rétorque ne pas prétendre que ces tourbillons se forment d'eux-mêmes en conséquence des lois du mouvement :

comme Dieu ne fait rien en vain, Dieu n'a pas pris la peine de former d'abord un cahos de mouvement inconcevable, pour en tirer un autre qui se conçoit distinctement, & qui est incomparablement plus simple que ne seroit le premier. On veut au contraire que ce mouvement en tourbillons soit la premiere forme que la matiere, & chacune de ses parties aient reçues au moment de la création [...] Or il est démontré chez tous les Mathématiciens qu'un corps qui se meut en rond, lorsqu'il n'y a rien d'ailleurs, qui s'oppose à son mouvement, si ce n'est la résistance qui le contraint de circuler, ne perd point de son mouvement en circulant, quoiqu'il fasse des efforts continuels pour se mouvoir en ligne droite. D'où il suit que ces grands & petits tourbillons emboités les uns dans les autres, qui dès l'instant de la création, n'ont reçu immédiatement de la main de la main de Dieu que l'étenduë, l'impénétrabilité, & le mouvement en rond, doivent conserver ce mouvement⁹.

- 1 Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 5. Mairan, *Dissertation sur la cause de la Lumière*, p. 20-21 : « l'étenduë considérée en elle-même, & indépendamment des qualitez sensibles, lesquelles lui appartiennent bien moins qu'à nous, n'est susceptible que de figure, & de mouvement. Tous les corps du monde ne peuvent donc différer entr'eux que par les figures, & les mouvemens des parties visibles, ou invisibles, qui les composent, ou, ce qui revient au même, par les différentes grosseurs, & par les divers arrangemens de ces parties ».
- 2 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 111.
- 3 Mazière, *Les loix du choc des corps à ressort parfait ou imparfait*, p. 5.
- 4 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 1-2 et p. 9.
- 5 *Ibid.*, p. 2.
- 6 Voir Partie I, Chapitre II et Partie II, Chapitre I.
- 7 Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la dureté*, p. 18-19. Voir Partie I, Chapitre III.
- 8 Pour cette critique, voir Partie II, Chapitre V.
- 9 Molières, *Réponse de l'Auteur des Leçons de Physique à l'Auteur de la Démonstration Physico-Mathématique de la fausseté des petits tourbillons*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Août 1739, Paris, 1739, p.

Bertier prête aux « Impulsionnaires » cette réforme du système de Descartes lequel suppose une matière d'origine sans mouvement et ce « faux principe » que le repos respectif des parties de la matière les rend « solides » ; or le repos cède aux plus petits mouvements possibles et ces parties ne peuvent pas être « co-hérentes » par ce seul repos¹. Aussi, en l'absence de mouvement dans le monde, la matière ne posséderait aucunes parties cohérentes et « elle seroit fluide & divisible à l'infini par la plus petite force possible » et, l'absence de mouvements autour d'un corps, mouvements qui en assureraient la compression, feraient que ses parties seraient transportées en sens contraires les unes des autres par la moindre force².

L'HOMOGENEITE

La première « Demande » des *Leçons* de Molières consiste à supposer que « l'Univers sensible a pû d'abord n'avoir été formé que d'un seul & mêmes Espace homogène », ou autrement dit un « Espace [...] partout semblable à lui-même », cette matière se voyant « divisée & subdivisée » par un « Agent général que l'on nomme *Force mouvante* » pour former les corps du monde³. Cette homogénéité résulte de l'essence de la matière, l'étendue venant dénier toute particularité aux corps en les faisant dépendre d'une seule et même matière originelle. Cette unicité implique un seul et même type d'explication des phénomènes physiques : dépourvus de spécificités propres, les corps se différencient les uns des autres par leurs mouvements, leurs figures et leurs grosseurs et n'agissent que par impulsions. Dès lors, la matière subtile, bien qu'à l'origine de toutes les explications naturelles, demeure par nature un corps comme les autres et ne se voit pas douée de qualités spécifiques autres que purement mécaniques ; la diversité des phénomènes observés ne provient pas d'un éther différent d'un lieu à l'autre de l'univers, mais des diverses conformations des corps sur lesquels il agit.

Ainsi, Mairan après avoir défini l'essence de la matière et évoqué la manière dont les corps se différencient les uns des autres, note que « des principes si simples en apparence sont pourtant la source d'une prodigieuse variété »⁴. Il en vient alors à la nature de la lumière qu'il conçoit comme composée d'une « matière subtile & agitée » ou, plus précisément, de « corpuscules, qui [...] ne sont autre chose, que de petits amas de ce fluide subtil [...] réduits en globules, qui tournent autour de leur centre »⁵. Or, « cette matière doit être partout la même en ce qui en fait le fond, & [...] celle d'un corps lumineux ne diffère de celle d'un autre corps lumineux, que par le mélange des corpuscules hétérogènes qui la déguisent, & par le plus ou le moins de densité ou de mouvement »⁶.

Mazière aborde la question de l'homogénéité de l'éther en s'interrogeant sur la raison pour laquelle une boule de verre « produit [...] un ressort plus prompt » qu'un ballon alors que ces deux corps renferment « la matière subtile [qui] est infiniment fluide »⁷. Cette différence résulte essentiellement des « parties propres » des corps qui sous le choc changent de situations respectives, provoquant ainsi « divers mouvements » dans les corpuscules d'air,

1682-1683. Pour ce qui est « démontré chez tous les Mathématiciens » concernant la conservation du mouvement circulaire, voir ci-dessous dans ce chapitre.

1 Bertier, *Principes physiques*, t. I, p. 455-456.

2 *Ibid.*, p. 459-460.

3 Molières [1734], Leçon I, Proposition II, p. 4-5. Voir aussi Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 83 : « on conçoit dans ce Système que Dieu a d'abord créé une certaine quantité de matière homogène, dont il devoit composer le monde, & qu'en même-tems il l'a divisée, & fait circuler sur différens centres, différentes portions de cette matière ».

4 Mairan, *Dissertation sur la cause de la Lumière*, p. 21.

5 *Ibid.*, p. 24. Pour la nature de la lumière selon Dortous de Mairan, voir le chapitre suivant.

6 *Ibid.*, p. 21-22. Mairan prend l'exemple de la lumière du soleil « sans doute plus épurée, plus dense, & plus violemment agitée que celle de la flamme ordinaire ».

7 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 14.

lesquels altèrent la circulation de la matière subtile ; or, ces « parties propres » se déplacent moins pour les corps plus « consistants » comme le verre. Mazière note que malgré cette différence de « ressorts », la « matière qui les produit tous, est homogène & infiniment fluide, puisqu'elle communique à une matière subtile, homogène & infiniment fluide ». En effet, selon Mazière, lors d'une collision, l'éther sort des mobiles durant la phase de compression, puis y entre à nouveau ce qui explique le rebond. Or, écrit-il, si « je presse un ballon entre mes mains, il en sort de la matière subtile, & il y en entre lorsque je cesse de le presser. N'ai-je pas tout lieu de conclure que la matière subtile qui est dans le ballon, & celle qui l'environne, sont homogènes ? » Ce raisonnement vaut tout autant en substituant au ballon la boule de verre : l'éther au sein de celle-ci « communique » de la même manière avec celui au dehors et ceux-ci sont donc de « même nature ». Conséquemment, puisque la matière subtile à l'extérieur et à l'intérieur du ballon est déjà de même nature, l'éther dans chacune des deux boules est identique et, plus généralement, « toute la matière subtile, qui remplit les espaces vides de corps grossiers, est homogène ». Ainsi « elle est également fluide dans tous les corps », non qu'elle y « coule également », mais parce qu'« elle peut y couler également ». Mazière termine son raisonnement en notant que « si on m'accorde qu'il y ait dans l'Univers un seul corps où elle [la matière subtile] soit indéfiniment fluide [...] j'en conclurai sans aucune peine, que cette matière est indéfiniment fluide dans tous les corps ; & qu'en conséquence il doit être permis de la supposer infiniment fluide »¹. Dès lors, l'homogénéité renvoie à une identité de nature d'une matière et, par conséquent, à une identité de propriétés physiques, en l'occurrence, ici, la fluidité.

LA FLUIDITE

Dortous de Mairan écrit qu'un « fluide en général est un corps dont les parties intégrantes ne sont pas liées ensemble, qui cède aisément au toucher, qui résiste peu à la division, & qui se repand comme de lui-même »² ; il ajoute que « le mouvement des parties des liquides n'est pas visibles, parce que ces parties sont trop petites pour être aperçues, mais il n'est pas moins réel »³. Les fluides ne s'épandent que « par leur ressort & leur poids, comme l'air, par exemple, ou seulement par leur poids, comme un monceau de sable, sans que leur surface supérieure se mette exactement de niveau ». Ce « niveau » ou ce « parallélisme perpétuel » de la surface distingue les fluides proprement dits des liquides : ces derniers, « par leur poids & par le mouvement que les parties qui les composent ont en tous sens les unes à l'égard des autres [...] coulent & s'étendent jusqu'à ce que leur surface supérieure se soit mise exactement de niveau »⁴. Comme déjà souligné, les « parties intégrantes d'un liquide » sont pour Mairan celles qui composent ce liquide « selon le dernier degré de division actuelle » et non le « dernier degré de division [...] la matière étant divisible à l'infini ». Les « molécules » de la matière subtile ne sont pas, contrairement aux liquides, de « petits amas de matière

1 *Ibid.*, p. 15-16.

2 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 5-6.

3 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1717), p. 8-9. Cette mention du mouvement des « parties » comme élément de définition correspond à un ajout de la seconde édition, cette mobilité se voyant justifiée par « la dissolution & la corruption » de corps par des liquides (par exemple, les métaux par « l'Eau-forte ») dues à « la figure, l'agitation, & la subtilité » des composants du fluide : « la dissolution suppose le mouvement, ou n'est autre chose que l'effet du mouvement », *ibid.*, p. 9-10. D'Alembert dans « Fluidité », *Encyclopédie*, t. VI, p. 891a, rapporte que « les Cartésiens, & après eux le docteur Hooke, Boyle, &c. supposent [...] le mouvement intestin, irrégulier & continu des particules, comme étant ce qui constitue principalement la fluidité », ce mouvement étant notamment justifié par le constat de « l'amollissement & la dissolution des corps durs » plongés dans des solutions.

4 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 6. Un liquide peut devenir fluide lorsque « l'amas de ses parcelles [...] se détachent de la masse-totale », par exemple l'eau devenant vapeur, *ibid.*, p. 7. Ces définitions et distinctions entre fluides et liquides, avec des exemples semblables (le sable ne se mettant pas « de niveau »), figurent aussi chez Mariotte, *Traité du Mouvement des Eaux et des autres Corps Fluides*, dans *Œuvres de Mr. Mariotte*, t. II, Leyde, Pierre Vander, 1717 (réédition du livre posthume de 1686), p. 326.

composez d'autres parties qui sont en repos les unes à l'égard des autres » mais « de petits amas de matiere extrêmement agitée, [...] comme autant de balons ou petits tourbillons d'un fluide très-subtil » en rotation sur eux-mêmes¹. Cette mobilité assure alors à la matière subtile sa spécificité à l'égard de tout autre fluide. En effet, elle ne possède pas de « parties intégrantés [...] liées ensembles » puisqu'elle n'en contient aucune, et cette fluidité est alors infinie en ce sens que la matière est divisible à l'infinie et qu'à chaque ordre de division se rencontre, par définition, un mouvement². Les autres fluides ont leurs « parties intégrantés [...] comme environnées de toute part par la matiere subtile, elles y nagent, y glissent, & suivent en tous sens les mouvemens qu'elle leur imprime » ; ils deviennent alors plus ou moins liquides selon « le plus ou le moins de cette matiere [subtile] enfermée dans un liquide, selon qu'elle a plus ou moins d'agitation & de ressort »³.

Suivant Mazière, s'insinuant « sans peines » dans les « pores imperceptibles » des corps, transmettant « par des espaces immenses » et « presque dans un moment » l'action de la lumière et faisant se bander et débander « en des tems si courts » les « ressorts des corps les plus durs », la matière subtile se voit qualifiée de « fluide parfait, ou au moins un fluide qu'on peut supposer parfait dans la Physique »⁴. Traiter du choc des corps à « ressorts parfaits » nécessite de supposer « un fluide parfait » : « parfait en promptitude » pour la compression et la restitution des figures, la matière subtile devant alors « couler » dans les mobiles avec une « promptitude infinie » et, par conséquent, « elle est infiniment fluide »⁵. Mazière ne conçoit pas cet adverbe « dans toute la rigueur Mathématique » : cette fluidité approchant « indéfiniment de la perfection » il revendique le droit au physicien « pour pouvoir raisonner avec quelque justesse sur les effets naturels » de supposer à la matière cette « infinie fluidité » ; elle n'apparaît pas ainsi dans l'absolu mais relativement à d'autres liquides connus⁶.

Que les « parties intégrantés » du fluide, selon l'expression de Mairan, ne soient pas « liées ensembles », que ce fluide « cede aisement au toucher » et que seul son « ressort » en exprime la « force », telles semblent être les propriétés permettant de définir la fluidité selon Molières et Launay⁷. Ainsi, les petits tourbillons composant l'air, l'eau etc. ne possèdent pas de parties dures par elles-mêmes, mais si ces milieux en possèdent c'est seulement par les compressions de l'éther ; d'autre part, il n'existe pas de telles « parties intégrantés » dans la matière subtile composée uniquement de petits tourbillons. Mazière écrit que « les corpuscules de la matiere subtile doivent être indéfiniment petits ; qu'ils ne peuvent avoir de dureté que par la compression de ceux qui les environnent, & qu'ils peuvent encore, suivant les differens besoins, être divisez & sub-divisez avec une très grande facilité en d'autres corpuscules plus petits, & cela à l'infini »⁸. Ces « corpuscules » cèdent facilement car, selon « les loix des Mécaniques lorsque deux forces se balancent [c'est-à-dire s'équilibrent comme c'est le cas pour les forces centrifuges des petits tourbillons] [...] c'est tout comme si ces forces

1 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 8-9.

2 Mairan écrit que la matière subtile « remplit le monde, & n'y laisse aucun vuide par ses divisions & subdivisions infinies », *ibid.*, p. 10. Pour autant, dans ce texte, ces « molécules » ne sont pas définies comme composées d'autres plus petites et ainsi de suite à l'instar des théories de Privat de Molières qui seront examinées dans le chapitre suivant.

3 *Ibid.*, p. 11.

4 Mazière, *Les loix du choc des corps à ressort parfait ou imparfait*, p. 12-13.

5 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 13.

6 *Ibid.*, p. 13-14.

7 Molières [1736], Leçon VII, Proposition V, p. 156 : « tout ce que nous nommerons Fluide, ne peut être autre chose qu'un milieu composé de petits tourbillons. Et un milieu composé de petits tourbillons qui se balancent librement est un fluide ». Molières précise ne réserver le mot fluide qu'aux milieux dans lesquels « des corps, qui pesent plus ou moins qu'un pareil volume de leurs parties, descendent ou montent par un mouvement accleré », *ibid.*, p. 157. Pour une définition identique chez Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 316. Nous verrons dans la Partie II, Chapitre IV que cette accélération provient de l'action des petits tourbillons.

8 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 16-17.

n'existoient pas, & que les tourbillons ne fussent pas comprimés »¹. Ceci permet de justifier que, selon Mazière, « on ne sent pas la force de la matiere subtile, parce que toutes ses parties se contrebalancent »².

LE « RESSORT » ET LA FORCE DE LA MATIERE SUBTILE

Mazière reprend la formule de Mairan voyant dans la matière subtile « le ressort de la machine du Monde » (*ibid.*, p. 9) : si le mot peut s'entendre comme ce qui fait agir et est la cause agissante dans la nature, le fluide étant la source de toutes les variétés du monde, l'image mécanique fait aussi écho à une propriété d'élasticité. Des corps qui se percutent ne peuvent rebondir que par l'action d'un fluide en mouvement et leur « ressort » résulte de celui de cette matière (*ibid.*, p. 6-7)³. Mazière associe la « promptitude » du « ressort » des corps à la « fluidité » de la matière subtile pouvant s'écouler facilement dans leurs pores⁴. Les « ressorts » sont aussi caractérisés par leurs forces : « *les ressorts sont parfaits en force, lorsqu'ils se débandent avec des forces égales à celles qui les ont bandez* » (*ibid.*, p. 12). Bien qu'il existe des « imperfections » ou « obstacles », « soit au-dedans des corps, soit au dehors » diminuant ces « forces » (*ibid.*, p. 19)⁵, la matière subtile possède cependant « une force capable de les [les ressorts des corps] rendre parfaits, ou de faire renaître en eux des forces égales à leurs forces primitives »⁶. Cette « force de la matiere subtile » ne dépend pas des « forces primitives » des mobiles, à savoir de leurs quantités de mouvement initiales, car bien qu'elle se « *deploye* à l'occasion du choc », « elle agit dans sens tout opposé » à celles-ci : « la matiere subtile est poussée » du point d'attouchement vers les centres de gravité des corps puis, « pour relever les corps », elle agit en sens inverse ; « elle est donc dans les boules indépendamment du choc. Elle y étoit avant le choc, dans le temps même qu'elles étoient au repos » (*ibid.*, p. 20-21). Dès lors, en supposant que les « forces primitives [...] augmentent à l'infini », celle du fluide « pour relever [les] ressorts [...] deviendra indéfiniment grande ». Or, comme la matiere subtile avait cette force avant « le choc & indépendamment du choc » puisqu'elle est dans les boules « indépendamment du choc », il s'ensuit qu'« une quantité finie de matiere subtile, telle que peut être celle qui est renfermée dans une boule de Verre ; a reçû & conserve par l'impression toute-puissante de l'Auteur de la Nature, une force assez grande pour égaler des forces que l'on peut supposer augmenter à l'infini » (*ibid.*, p. 22-23) ; l'éther possède donc « une force que l'on peut supposer infinie », capable de « contrebalancer » toutes les actions quelles que soient leurs intensités. Ceci suggère que ce fluide dans une boule soit « contenuë par une force infinie » sous peine de s'échapper « au-delà [des] bornes [de cette boule] » :

1 Molières [1736], Livre VII, Proposition V, p. 163. Molières écrit aussi que « quelques grandes que soient les forces centrifuges avec lesquelles ils se balancent, à l'égard d'un mobile qui traverse le milieu que ces petits tourbillons composent, c'est tout comme si ces forces, qui sont mutuellement en équilibre, n'existoient pas ».

2 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 18.

3 Voir Gamaches, *Astronomie physique*, p. 153 : « les Tourbillons sont élastiques puisqu'ils tendent incessamment à franchir leurs bornes, les physiciens prouvent même que l'élasticité des corps à ressort, vient de celle des petits tourbillons insérés dans les interstices qui se trouvent entre les parties intégrant de ces corps ».

4 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 12-13.

5 Parmi ces « obstacles interieurs » Mazière dénombre « la fragilité des corps physiques, le mélange des parties heterogenes qui entrent dans la composition de leurs masses, le mélange des fluides grossiers qui s'insinuent dans leurs pores avec la matiere subtile » ; concernant les « obstacles exterieurs », il faut tenir compte de la résistance de l'air, de « la matiere glutineuse » qui couvre la surface des mobiles, puis de « l'imperfection des machines » servant aux collisions à savoir « la difficulté que l'on trouve à les [corps] faire choquer directement, les poids & l'agitation des fils de suspension, enfin les moindres frottemens, soit des corps, soit des fils », *ibid.*, p. 19. Les machines en question consistent en des pendules, les élévations des corps avant et après le choc permettant de déterminer leurs vitesses ; Mazière mentionne Mariotte qui utilise de tels dispositifs dans son *Traité de la percussion* de 1673.

6 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 20.

il est donc nécessaire que la couche de matière subtile qui enveloppe immédiatement la surface de la boule que nous considérons, la comprime avec une force infinie. Il est donc nécessaire, par les mêmes raisons, que cette première couche soit infiniment comprimée par la seconde qui suit, la seconde par la troisième, & ainsi de suite à l'infini. Il est donc nécessaire enfin que toutes les couches de la matière subtile qui enveloppent cette boule (dont nous pouvons considérer ici le centre comme celui de l'Univers) soient infiniment comprimées : Que par conséquent tout la matière subtile qui remplit l'Univers soit comprimée dans toutes ses parties par une force infinie : Que par conséquent elle ait dans toutes ses parties une force qui réponde à celle qui la comprime ; qui réponde en quelque sorte à la Toute-puissance de celui qui la comprime en la manière & suivant les directions qui lui plaît (*ibid.*, p. 23-24).

Par un « enchaînement de principes », Mazière part ainsi d'une analyse du choc à l'augmentation infinie de la compression qui le conduit à la force « indéfiniment grande » de l'éther dans un corps et, plus généralement, à cette conclusion d'une « force » infinie ou indéfinie du fluide dans l'univers. L'équilibre global du système (des forces capables de se « contrebalancer ») rend ici pensable cette « force » infinie et cette affirmation selon laquelle « une matière infiniment comprimée » remplit l'univers.

Bien que douée « d'une force infiniment grande » (*ibid.*, p. 27) et bien que « produi[sant] le Feu, & [...] lui donn[ant] toute la force qu'il peut avoir » (*ibid.*, p. 25), l'action de la matière subtile, contrairement à celle du feu, ne se ressent pas. Ce paradoxe s'éclaire en remarquant que les parties de l'éther responsables de la production du feu « ne sont en équilibre ni entr'elles, ni avec celles qui les environnent » ; *a contrario*, « toutes les parties de la matière subtile qui remplit les corps élastiques ou qui les environne, se contrebalancent, se maintiennent dans l'équilibre, tendent à s'y conserver, & s'y remettent très-facilement, lorsque la cause qui les en a un peu tirées vient à cesser » (*ibid.*, p. 27). Cette possibilité de « forces infiniment grandes » insensibles dans le système du monde repose sur « l'idée du P. Malebranche » tirée de *l'Eclaircissement XVI de la Recherche de la vérité*, à savoir que par ses mouvements divers la matière subtile se divise et forme des petits et grands tourbillons « qui se contrebalancent » (*ibid.*, p. 29)¹. Puisque l'effet du choc de deux mobiles s'avère identique si, toutes choses égales par ailleurs, ils se rencontrent en allant de l'« orient » vers l'« occident » ou dans toute autre direction, la matière subtile « agit également en tout sens » et ne circule pas uniquement dans une direction privilégiée autrement elle emporterait tous les corps dans son mouvement (*ibid.*, p. 33-34)². Les corpuscules de cette matière ne sortent pas des corps dans « tous les sens » car l'éther enveloppant les mobiles les comprime, mais « ils tendent [...] seulement à [en] sortir [...] ; & ils n'en sortent pas en effet, si ce n'est à l'occasion de quelque choc ». Selon Mazière, une telle « tendance [...] ne peut être que l'effet d'un mouvement circulaire » : les « corpuscules » de la matière subtile décrivent « de très-petits cercles » avec « de très-grandes vitesses » d'où résulte des « forces centrifuges » ; ils développent alors « ensemble des forces capables de contrebalancer les plus grandes qui soient dans l'Univers »³.

La réforme de la physique de Descartes impose une révision de ses éléments au point que « l'Ether est un espace composé de petits tourbillons »⁴ et qu'il forme un milieu

1 *Ibid.*, p. 29 : « toutes les parties de la matière subtile qui remplit l'Univers, se résistant réciproquement par leurs mouvements divers & particuliers, doivent se diviser sans cesse, & former divers Tourbillons de figure sphérique, qui se contrebalancent, & dans ceux-ci d'autres encore plus petits, & même encore d'autres moins durables dans les intervalles concaves, que laissent entr'eux les Tourbillons qui se touchent ».

2 Si l'éther circulait d'orient vers l'occident, un tel mouvement rendrait incompréhensible qu'un corps comprimé lors d'un choc du côté de sa « partie Orientale » puisse retrouver sa forme d'origine car cela suppose que « le point de contact [...] doit être repoussé vers l'Orient », sens contraire à celui de l'éther. Mazière (*ibid.*, p. 27-28) cite *l'Eclaircissement XVI de la Recherche de la vérité* dans lequel Malebranche développe aussi cette justification d'une mise en tourbillons équilibrés de la matière subtile sinon « tous les corps qu'elle environne seroient transportez dans son cours avec plus de vitesse que la foudre ». Voir Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 271 et Partie II, Chapitre I.

3 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 34.

4 Molières [1734], Leçon V, Proposition II, p. 318.

« élastique »¹. Molières procure aux « globules durs » cartésiens « une propriété très-convenable à la propagation de la lumière qu'ils n'avoient pas » à savoir « une élasticité très-prompte & très-vive, qui peut transmettre les impulsions des parties des corps lumineux à de très-grandes distances, & en un instant presque indivisible ». Ces petits tourbillons sont eux-mêmes « nécessairement formés d'une infinité de petites parties qui circulent autour de leurs centres, avec des vitesses inégales, & qui achevent leur révolution avec une promptitude qui surpasse l'imagination » : ces « parties » forment « un milieu dont tous les points sont nécessairement & perpétuellement dans un très-grand mouvement les uns à l'égard des autres, & d'une subtilité prodigieuse par rapport aux petits tourbillons qu'ils composent ». Cette matière qui « constituë le feu » correspond au « premier élément » dont « les fonctions différent prodigieusement de celles de la lumière, tant par la petitesse des parties dont il est composé, que par la grandeur du mouvement dont il est continuellement agité » (*ibid.*, p. 325-328). Comme déjà remarqué ci-dessus, Molières nomme « l'*Ether* ou la *Lumière* » (*ibid.*, p. 334) le milieu remplaçant le second élément de Descartes consistant en des « petits tourbillons du premier ordre » (*ibid.*, p. 330), qui eux-mêmes se « remplissent & [se] composent » (*ibid.*, p. 336) de « petits tourbillons du second ordre », lesquels « sont aussi des tourbillons composés d'autres petits tourbillons d'un troisième ordre. Et ainsi de suite » (*ibid.*, p. 330). Coexistent alors « différens milieux élastiques [...] dont (Pr. 7. 3) l'élasticité de l'un sera d'autant plus prompte que l'élasticité de l'autre, que les petits tourbillons dont l'un de ces milieux sera composé seront plus petits que ceux de l'autre milieu » (*ibid.*, p. 337). La Proposition VII de la Leçon III (« Pr. 7. 3 ») stipule qu'« un Tourbillon, & un Milieu rempli de tourbillons, est un corps souple élastique ou à ressort »². Elle repose sur l'idée que lors d'une compression d'un tourbillon, la matière circulant autour de son centre développe une force centrifuge d'autant plus grande qu'elle se voit rapprochée de ce point, laquelle permet au système de recouvrer sa figure originelle. Ce même principe vaut pour les petits tourbillons et, « à vitesse égale, plus les tourbillons sont petits, plus la circulation de leurs points est prompte ; Or plus la circulation des points d'un tourbillon sera prompte, plus leur force centrifuge sera grande. Par conséquent plus un tourbillon est petit, plus son ressort ou son rétablissement dans la forme sphérique doit être prompt »³.

Tout comme pour Malebranche, les effets du feu ou du canon illustrent la force attribuée à cette matière subtile, qu'elle soit responsable d'incendies dévastateurs à grande échelle où qu'elle enflamme la poudre et confère ainsi sa puissance à un boulet⁴. La matière subtile se conçoit alors comme un réservoir de forces centrifuges au sein de l'univers⁵, forces rendant compte de la « vertu élastique » du fluide⁶. Cette dernière résulte des petits tourbillons car, selon Mairan, admettre une « élasticité essentielle de la matière » revient à introduire une

1 *Ibid.*, Proposition III, p. 325.

2 Molières [1734], Leçon III, Proposition VII, p. 180.

3 *Ibid.*, p. 181-182.

4 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 27-28 cite « les termes expressifs du P. Malebranche » tirés de l'*Eclaircissement XVI* de la *Recherche de la vérité* : « si cette matière se mouvoit en même sens, tous les corps qu'elle environne, seroient transportez dans son cours avec plus de vitesse que la Foudre ; car la vitesse de la Foudre, aussi-bien que celle d'un coulet de canon, a pour cause primitive celle de la matière étherée ». Ce même auteur remarque que « le Feu allumé dans un Mazarin à poudre par une seule étincelle, est capable de le faire sauter en moins d'un clin d'œil, & par le bruit seul qu'il cause, de faire trembler toute une Ville, abattre des maisons, & jeter tous les habitans dans la consternation. Où étoit cette force si formidable, un instant avant que l'étincelle parut, & que le Feu à son occasion eut pris à la poudre du Mazarin. Etoit-ce dans les parties grossières des grains de la poudre à canon ? Elles étoient toutes dans un repos respectif. Cette force étoit sans doute dans la matière subtile qui les enveloppoit, & en remplissoit les pores. C'est donc cette matière qui produit le Feu, & qui lui donne toute la force qu'il peut avoir », *ibid.*, p. 25. Pour ces arguments chez Malebranche, voir le chapitre précédent.

5 Molières évoque la « force » du feu comme « étant renfermée dans des petits tourbillons avant que de [...] produire » son effet et qui « se déploie à l'instant qu'on lui donne occasion de le faire ». Molières [1734], Leçon V, Proposition X, p. 396-397. Sur les exemples des effets dévastateurs du feu ou du boulet rendant compte de la « force » de l'éther, *ibid.*, p. 393-398.

6 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 9.

« chose obscure » : « tout autre principe d'élasticité ou de ressort dans un fluide est inintelligible. La force primitive du ressort ne peut être qu'une force centrifuge ; la force centrifuge ne peut exister que par le mouvement de la matière autour d'un centre ou autour d'un axe, & de ce mouvement naissent les tourbillons »¹. Or, une explication physique est nécessairement mécanique² et, « les causes premières & mécaniques des effets de la nature ne nous sont si cachées, qu'en ce qu'elles agissent par ces fluides subtils ou invisibles, ou par quelques fluide universel qui opère sous mille aspects différens : & il n'y a pas de doute, que si les loix du mouvement de ce fluide, ou de ces fluides, nous étoient connues, on ne donnât raison d'un grand nombre de phénomènes »³. Aussi Mairan écrit-il que « le Mécanisme est certainement par-tout où nous le voyons, mais nous ne saurions affirmer sans beaucoup de témérité, qu'il n'est pas là où nous n'avons pû encore le démêler »⁴. Dès lors, si la matière subtile apparaît comme la source des phénomènes naturels, les forces centrifuges acquièrent un rôle fondamental dans l'explication de ceux-ci⁵.

« L'INSENSIBLE RESISTANCE », L'ABSENCE DE PESANTEUR ET D'INERTIE

A l'entrée « Résistance *des fluides* » de l'*Encyclopédie*, D'Alembert écrit qu'

un corps qui se meut dans un fluide, trouve de la *résistance* par deux causes, la première est la cohésion des parties du fluide : car un corps qui dans son mouvement sépare les parties d'un liquide, doit vaincre la force avec laquelle ces parties sont cohérentes. *Voyez* COHESION. La seconde est l'inertie de la matière du fluide, qui oblige le corps d'employer une certaine force pour déranger les particules, afin qu'elles le laissent passer. *Voyez* FORCE D'INERTIE.⁶

La « cohésion » auquel renvoie l'article est aussi dénommée « adhérence » ou « tenacité », voire « viscosité »⁷. Reconnaître une absence de résistance pour le fluide « éther » implique une argumentation pour chacun de ces deux facteurs, l'inertie et la cohésion.

La résistance de l'éther reçoit, comme sa fluidité, une définition relative chez Mazière : s'il écrit que la matière subtile doit céder « sans aucune résistance », il précise cependant qu'en toute « rigueur » il s'agit d'« une résistance indéfiniment petite, & que l'on peut en conséquence considérer comme infiniment petite, ou comme nulle, par rapport aux résistances des autres fluides »⁸. Mairan tient des propos semblables lorsqu'il évoque la propagation de la lumière s'opérant par « l'écoulement & le transport actuel »⁹ de « corpuscules lumineux »¹⁰ dans l'éther. Il examine la résistance qu'oppose ce milieu aux corpuscules en prenant l'exemple d'autres fluides, en l'occurrence l'air dans lequel des mobiles « trouveroient 800.

1 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1749), p. xxvj-xxvij.

2 Mairan, *Eloge de M. l'abbé de Molières*, p. 197 : « la Physique, qui n'est elle-même qu'une Mécanique perpétuelle & la Géométrie du mouvement ».

3 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1749), p. xviii.

4 Mairan, *Eloge de M. l'abbé de Molières*, p. 201.

5 Pour ces explications, voir Partie II, Chapitres III et IV.

6 D'Alembert, « Résistance *des fluides* », *Encyclopédie*, t. XIV, p. 175b.

7 Voir Pierre van Musschenbroek, *Essai de Physique*, t. I, Samuel Luchtmans, 1739, p. 344 : « nous appellons *Adhérence*, ou *Cohésion*, cette condition & force des Corps, par laquelle leurs parties s'opposent à leur séparation, qu'elle que puisse être la cause de leur union, ou de quelque manière qu'elle se soit faite ». Il évoque aussi la « tenacité » des « parties des Liquides » que pour sa part il attribue à une « Vertu attractive », voir notamment p. 275. Molières [1734], Leçon II, Proposition IV, p. 99 mentionne l'absence de « viscosité » des couches de matière subtile. A l'article « Viscosité », *Encyclopédie*, t. XVII, p. 339a, on peut lire que « nous appellons *visqueux*, tout ce qui s'attache à nos doigts, qui a quelque peine à s'en séparer, qui les colle ensemble ». L'entrée « VISCOSITE *des humeurs du corps* » souligne que « c'est une constitution du sang, où les parties sont tellement embarrassées les unes dans les autres, qu'elles résistent à leur séparation entière, & qu'elles cedent plutôt à la violence qu'on leur fait en s'étendant en tout sens, que de souffrir de division ».

8 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 16.

9 Mairan, *Dissertation sur la cause de la Lumière*, p. 14.

10 *Ibid.*, p. 12.

fois moins de resistance ou de difficulté à [le] diviser [...] & à le traverser, qu'ils n'en trouveroient à traverser l'eau »¹. Or, « puisque rien n'empêche qu'il n'y ait dans la Nature un fluide, dont la resistance soit 800. fois plus petite que celle de l'air, comme celle de l'air est 800. fois plus petite que celle de l'eau, & quelque autre encore qui resiste 800. fois moins que le dernier, & ainsi de suite à l'infini ; il ne sera pas malaisé de comprendre que l'Ether, ou peut-être encore une matiere plus subtile qui remplit ses interstices, puisse être traversé avec tant de vitesse par les corpuscules lumineux » issus du soleil. Quand bien même cette matière résisterait davantage, elle n'en serait pas pour autant « un obstacle à la prompte propagation de la Lumiere »². Mazière et Mairan fondent l'absence de résistance de l'éther sur sa fluidité, à savoir sa « facilité de couler dans tous les corps avec toute la promptitude qu'il est nécessaire », soit sur la mobilité de cette matière, sur la petitesse de ses corpuscules, et sur leur possibilité d'« être divisez & subdivisez avec une très grande facilité en d'autres corpuscules »³.

Le rapport des résistances de 1 à 800 et « ainsi de suite à l'infini », qui correspond aussi à celui des pesanteurs de l'air et de l'eau, suggère que l'éther pèse infiniment peu. Si cette propriété n'apparaît qu'en filigrane chez Mairan, *a contrario* Molières fait de cette absence de pesanteur la clef de voûte de sa réfutation de critiques newtoniennes concernant l'impossibilité d'un mouvement dans le plein, réfutation qui le conduit, ainsi que Launay, à concevoir l'éther sans inertie. Ainsi, Molières entend révoquer « une des plus grandes difficultés qu'ont ait formées de tout tems contre le système du plein », à savoir « qu'un mobile poussé horizontalement dans l'éther, continuë à s'y mouvoir malgré le déplacement perpetuel qu'il doit y faire de la matiere subtile qu'il rencontre, & dont le volume est égal au volume du mobile, à chaque fois qu'il parcourt un de ses diamètres »⁴. Newton établit qu'une sphère de densité semblable au milieu qu'elle traverse, « sans même avoir égard à la viscosité, adhérence ou tenacité des parties du fluides les unes aux autres », perd la moitié de sa vitesse en parcourant une distance longue de trois fois son diamètre⁵. Comme le rapporte Molières, Newton observant que ce corps franchit une plus grande distance lorsque la densité du fluide diminue⁶, il en conclut à l'impossibilité qu'un mouvement perdure « si les espaces celestes & les pores des corps sensibles [...] étoient remplis d'un fluide aussi dense & aussi materiel que les Cartesiens le supposent »⁷. D'où la thèse rapportée par Molières que, selon Newton, « l'Univers étoit nécessairement composé de deux sortes d'espaces, l'un immateriel & pénétrable, incapable d'impulsion de mouvement & de force, qu'il [Newton] appelle *vide*, & l'autre materiel & impénétrable » ; les parties de la matière de cet univers « laissant des intervalles plus ou moins grands qui n'étoient remplis de *rien* [...] formoient des corps plus ou moins *denses*, selon qu'ils contenoient plus ou moins de matiere dans leur volume : ce qu'il [Newton] déterminoit par la différence de leurs poids à volume égal »⁸.

1 *Ibid.*, p. 15. Ce nombre de 800 correspond au rapport du poids de l'eau à celui de l'air : « des Physiciens habiles, & tout ensemble grands Mathematiciens ont pensé que la resistance de l'air devoit être à celle de l'eau, à peu près comme 1. est à 800. c'est à dire, en raison de leurs poids ». Voir Newton, *Principes*, TMC, I, p. 340-341 pour la proportion de 850 à 1 des résistances de l'eau à l'air qui correspond au rapport des densités.

2 Mairan, *Dissertation sur la cause de la Lumière*, p. 15-16.

3 Voir Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 16-17.

4 Molières [1734], Leçon V, Proposition V, p. 343-344.

5 *Ibid.*, p. 344-345. Voir Newton, *Principes*, TMC, II, Prop. XXXV, p. 354-355 et p. 357. Newton ne tient pas compte de la « tenacité & du frottement des parties » du fluide, mais seulement de leur inertie, voir p. 392-393.

6 Molières [1734], Leçon V, Proposition V, p. 345-346.

7 *Ibid.*, p. 346. Newton note la proportionnalité de la résistance à la « force d'inertie », et que la diminution de celle-là requiert de « diminuer la quantité de matiere dans les espaces dans lesquels le corps se meut » ; que les planètes et les comètes se meuvent « librement », sans « diminution sensible de leur mouvement » implique que « les espaces célestes [...] doivent être vuides de tout fluide corporel », Newton, *Principes*, TMC, II, Scholie, p. 393.

8 Molières [1734], Leçon V, Proposition V, p. 347-348.

Molières oppose à Newton « l'insensible résistance de l'Ether »¹. Il l'explique « par la seule raison que l'Ether ne pese point » et, ainsi, « un corps pesant » traversant horizontalement ce milieu « ne perdra tout au plus à chaque fois qu'il parcourra un de ses diamètres, & qu'il déplacera un volume de ce milieu égal au sien, qu'une quantité infiniment petite de sa force & de sa vitesse »². Molières estime que Newton n'établit pas ce qui arrive pour un corps pesant mu dans « un fluide autant dense qu'on voudra le supposer, mais dont la pesanteur seroit infiniment petite ou nulle ». En l'occurrence, plus la pesanteur spécifique (« la pesanteur d'un volume du fluide égal au mobile ») du fluide par rapport au mobile diminue, plus le mouvement de celui-ci dure (*ibid.*, p. 368-369).

Le raisonnement repose, dans un premier temps, sur une distinction, inexistante dans la physique newtonienne dans laquelle tous les corps pèsent, entre densité et pesanteur ; deux notions que « Newton confond toujours » pour Molières. Une fois pompé l'air de la « machine pneumatique », la matière subtile qui subsiste « n'[a] presque point de pesanteur » tout en restant « très-dense en ce sens : qu'elle remplissoit exactement tous les moindres espaces » (*ibid.*, p. 370). Il faut alors distinguer deux types de matières : une pesante car ses parties ne se composent pas de petits tourbillons de matière subtile, et une autre sans pesanteur car constituée uniquement de ceux-ci et qui est la cause de la pesanteur (*ibid.*, p. 372-373). Cette hétérogénéité se fonde ainsi sur une dissociation entre pesanteur et densité : l'éther est dit « dense » seulement en ce sens qu'il occupe tout l'espace. La seconde étape de l'analyse de Molières vise à associer l'absence de pesanteur à l'absence de résistance.

Molières écrit qu'en chute libre dans le vide, un corps parcourt environ 15 pieds en 1 seconde et si l'accélération de la pesanteur diminue de telle sorte que le mobile franchisse 15 pieds en 2 s., 15 pieds en 3 s. etc., la pesanteur devient le quart, le neuvième etc. de la première. Le poids correspond à une « force mouvante » quantifiée à chaque instant par une quantité de mouvement et, pour une masse donnée, elle varie selon la vitesse. Une telle force appliquée à un mobile afin de produire une vitesse V horizontale identique à celle acquise lors d'une chute diminue dans les mêmes proportions que la gravité. Ainsi, en admettant qu'il faille appliquer une force F pour procurer une vitesse V à un corps qui suit la loi d'accélération de 15 pieds en 1 seconde, « si la pesanteur du mobile A , est infiniment petite, ou telle qu'il ne puisse parcourir en tombant du point de repos, 15 pieds qu'en une infinité de secondes de tems, la force f qu'il faudra employer pour lui procurer la vitesse horizontale V , sera infiniment petite à l'égard de la force F » (*ibid.*, p. 375). Dès lors « si un corps A , pesant à l'ordinaire, choque directement & horizontalement un corps B , dont la quantité de matière [...] est égale à celle de A , & qui ne pèse qu'infiniment peu ; le corps A ne perdra par le choc qu'une quantité infiniment petite de sa force & de sa vitesse ; laquelle force néanmoins procurera au corps B la même vitesse qui sera demeurée au corps A » car, d'après le raisonnement précédent, « cette quantité infiniment petite de la force du corps grave A suffit au corps B , qui ne pèse qu'infiniment peu, pour lui procurer cette vitesse » (*ibid.*, p. 376). Molières transpose alors ceci au cas de l'éther et A « ne perdra tout au plus à chaque fois qu'il parcourra un de ses diamètres, qu'une quantité infiniment petite de sa force & de sa vitesse » dans ce fluide (*ibid.*, p. 377). Des raisonnements identiques apparaissent chez Launay³.

En estimant qu'un fluide n'oppose aucune résistance, si sa pesanteur est infiniment petite par rapport à celle d'un corps, Molières part de prémisses admissibles d'un point de vue newtonien. Malgré tout, pour Newton, ceci revient à signifier qu'un tel milieu correspond au vide ou à un ensemble infiniment peu dense, l'absence de poids impliquant celle de matière.

1 *Ibid.*, Proposition VI, p. 348.

2 *Ibid.*, Proposition VIII p. 367.

3 Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 216-220 et p. 222-227.

Molières récuse cette dernière assertion et définit la densité par l'espace qu'occupe la matière, laquelle peut ne pas peser. Ainsi, il écrit que

toute la question ne roule que sur une équivoque du mot *dense* que l'on prend ici en divers sens. Ainsi l'éther est dense, comme tous les autres corps, au sens que ses parties ne laissent aucun intervalle entr'elles ; mais cette densité dans le système du Plein n'est pas susceptible du plus ou du moins. Et l'éther n'est pas dense au sens dont on dit qu'est dense le vif argent, l'eau, l'air, &c. Car on ne juge de cette densité, qui est susceptible du plus ou du moins, que par le poids de ces fluides à volume égal ; & les poids de ces fluides ne diffèrent entre eux que parce que l'Ether, qui occupe la plus grande partie de leur volume, est chargé de plus ou de moins de parties pesantes ; lesquelles ne sont pas moins denses en elles-mêmes, que l'Ether de cette densité qui est propre à l'éther ; avec cette différence que les premières pèsent & laissent entr'elles des intervalles, & que les autres ne pèsent pas, & remplissent très-exactement tous ces intervalles¹.

Molières estime alors que la pesanteur et la force horizontale appliquée afin de produire la vitesse V acquise lors d'une chute libre suivent la même proportion et, finalement, A met en mouvement B de même quantité de matière, mais sans poids, sans rien perdre de sa vitesse. Dans son analyse, Newton ne tient pas compte de la viscosité du fluide dont la résistance ne repose que sur l'inertie de ses parties. L'exemple du choc de Molières témoigne d'une absence de conceptualisation de l'inertie, ce qui le conduit à cette conclusion que A ne perd rien de sa vitesse quand bien même il percuterait B de même masse. Si « l'Ether, [...] ne pèse point, ou que fort peu, parce qu'il ne contient point, ou que très-peu, de parties pesantes »², le raisonnement de Molières invite aussi à attribuer à ce fluide une autre propriété, à savoir l'absence d'inertie.

Contrairement aux opinions de Mazière et Mairan, pour Molières une division en des « parties très-fines » sans « aucune liaison entre elles »³ de l'éther et les mouvements de celles-ci – autrement dit la fluidité de ce milieu – ne suffisent pas à rendre compte que l'éther ne résiste pas, bien que « ces conditions soient nécessaires »⁴. Par ailleurs, les pores des corps permettent la circulation de la matière subtile, mais ceci n'explique pas davantage l'absence de résistance⁵. Pour Molières, cette dernière tient au fait que la matière subtile ne pèse pas, le raisonnement s'appuyant sur cette conception que la densité ne renvoie qu'à une occupation spatiale ; cette distinction se rencontre aussi chez Launay et Keranflech, ce qui les conduit aux mêmes conclusions que Molières⁶.

La comparaison entre l'éther et la flamme offre un versant sensible aux caractéristiques d'impondérabilité et d'absence de résistance. S'« il n'y a peut-être aucun milieu sensible qui soit moins pesant, ou qui résiste moins que la flamme au mouvement horizontal d'un boulet de canon que l'on tire à travers ce milieu », malgré tout, par la « force » que la flamme exerce

1 Molières [1734], Leçon V, Proposition IX, p. 386-387. La densité, en ce second sens, vient de ce que « l'Ether [...] est chargée de parties pesantes » ; les différences de densités entre fluides résultent du plus ou moins de matières que l'éther contient et « il n'y a que les parties pesantes qu'il contient qui résistent » au mouvement d'un mobile, *ibid.*, p. 384-385.

2 *Ibid.*, p. 392.

3 *Ibid.*, Proposition VI, p. 350.

4 *Ibid.* La division en parties et la mobilité sont nécessaires car sans elles le fluide gèle interdisant alors à un corps de s'y mouvoir, *ibid.*, p. 350-351.

5 *Ibid.*, Proposition VII p. 351. Partant de l'idée qu'un mobile perd d'autant plus de « force » qu'il offre plus de prise par sa superficie au fluide qu'il traverse, Molières note qu'« il est évident qu'il n'y a pas de comparaison à faire entre la quantité de superficie que touche l'éther qui traverse à chaque instant les pores tortueux & innombrables de ce mobile en sens contraire à sa direction » avec une autre superficie recouvrant ce corps et impénétrable à l'éther ; « destitué de cette enveloppe [il] ne doit pas parcourir à beaucoup près tant d'espace, avant que de perdre la moitié de sa vitesse, que s'il en étoit recouvert », *ibid.*, p. 354-355.

6 Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 213, suppose l'univers rempli de deux matières, « l'une pesante & l'autre non pesante », cette dernière s'identifiant au « vuide de M. Newton » ; voir aussi p. 214-216 concernant le milieu dense au sens qu'il occupe l'espace tout en étant dépourvu de pesanteur. Voir Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 29-30 : « Selon eux [les physiciens poursuivant le système de Descartes], la fausseté de cette supposition, que *pesanteur & densité* sont la même chose, ôte toute sa force à la prétendue démonstration Newtonienne touchant la résistance de la matière céleste ».

au point de « pouvoir séparer promptement les unes des autres toutes les parties de ce boulet de plomb & de le fondre », elle doit « contenir une quantité de matière prodigieuse sous un volume égal à celui du corps sensible qui est l'objet de son action ; puisque la flamme exerce sur ce corps une si grande force ». Cette force provient d'impulsions car « la flamme désunit & écarte bien-loin & très-promptement les parties des corps exposés à son action ». Et Molières de conclure, « comment peut-on penser qu'il n'y a que les corps qui pèsent qui soient réels ou capables d'impulsion de mouvement & de force ? Et que parce que l'Ether ne pèse pas, l'Ether n'est rien du tout ? »¹.

Pour Mazière, Mairan, Molières, Launay et Keranflech, l'absence de résistance de l'éther repose donc sur une absence de « tenacité » de ses parties (elles « coulent » facilement entre elles) et l'absence de matières solides entrant dans sa composition, puisqu'en supposant la matière subtile constituée de tels solides, ceux-ci donneraient un poids à l'éther. Gamaches résume ces deux conditions. Il conçoit tout d'abord un fluide comme « une masse composée de parties indéfiniment déliées, détachées les unes des autres, & par-là susceptibles de toutes sortes d'impressions »². Lorsqu'un corps se meut dans un tel milieu, il en frappe les « particules », et

comme elles ne sont point attachées les uns aux autres, celles qui ne sont pas immédiatement appliquées au corps qui les pousse, s'écartent & se dérobent en partie à l'impression du choc, de manière que le corps qui se meut dans le fluide, ne perd à chaque instant qu'une partie du mouvement qu'il perdrait, si les particules qui s'opposent immédiatement à son passage étoient adhérentes à celles vers lesquelles elles sont poussées (*ibid.*, p. 103).

Le mobile fait alors circuler autour de lui « une couche de matière, ou mince ou épaisse [...] suivant que ces particules sont plus ou moins déliées, & qu'elles ont plus ou moins de facilité à se séparer les unes des autres » : il ne rencontre alors que des « couches infiniment minces, en supposant qu'il se trouvât dans un milieu parfaitement fluide ». Gamaches montre ensuite que sous cette dernière hypothèse le corps ne perd « qu'une infinitième partie de sa force ». Il imagine qu'un corps *A* vienne percuter un autre *B* dans « un milieu infiniment peu fluide ». L'action « tombera à la fois » sur *B* et sur les « parties » ou « corpuscules » du fluide compris entre *A* et *B*. Or, plus le milieu est fluide, plus ses « parties » s'échappent suivant « des directions latérales » : si « cette fluidité devenoit infinie », l'impression de *A* sur *B* ne se fait que « dans l'instant où il le joindroit » et non plus par « l'entremise des particules intermédiaires » (*ibid.*, p. 103-105). Si un corps se meut dans un fluide dont « les particules admissent des vuides entr'elles [...] rien ne les déroberoit à l'impression du choc, leurs écarts suivant des directions laterales n'auroient plus lieu, donc elles feroient perdre au mobile tout le mouvement qu'elles en recevoient » ; mais rien de tel ne se produit sous « l'hypothèse de la plénitude universelle » qui, paradoxalement, permet de « supposer des fluides non résistans » (*ibid.*, p. 120).

Gamaches poursuit en notant que la résistance éprouvée par un corps dans un fluide « ne répond pas seulement à l'épaisseur des couches [...] elle répond encore à la densité de ces couches » qui est « proportionnelle à la quantité de matière à laquelle les pores du corps mû refusent un libre passage » (*ibid.*, p. 107) : cette « densité » revient à prendre en compte l'inertie des composants du fluide. Or, si la densité d'un corps correspond au « plus ou moins de matière propre, sous un volume déterminé » (*ibid.*, p. 103), le mot densité accolé à la matière subtile ne signifie rien d'autre, comme remarqué avec Molières, que la propriété d'occuper l'espace : c'est la matière réduite à son essence – l'étendue – indépendamment de ses « qualités sensibles » – couleurs, forces etc. – et qui correspond « précisément [à] ce que le commun des Philosophes désigne par le mot *vuide* » (*ibid.*, p. 7). Il faut distinguer dans un

1 Molières [1734], Leçon V, Proposition X, p. 394-398.

2 Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 102.

fluide « les parties propres qui le composent, & les particules qui occupent les interstices que ces parties laissent entr'elles » ; celles-ci, « plus déliées que celles qu'elles séparent, forment un nouveau fluide que pénètre pareillement un fluide plus délié, pénétré lui-même par une matière encore plus fluide, & ainsi à l'infini » et ceci « parce que la matière est infiniment divisible ». Ainsi, « tout fluide en renferme une infinité d'autre qui lui sont hétérogènes » (*ibid.*, p. 102). Cette hétérogénéité semble atteindre son plus haut degré concernant l'éther, puisque sans « tenacité » et sans « quantité de matière » propre à faire perdre un mouvement, il est par excellence le fluide non résistant. Bien que « la Nature n'admette aucun vuide, on est cependant en droit de supposer que l'éther eu égard à son indéfinie fluidité & à la compression générale de toutes ses parties, ne peut faire aucune résistance sensible » (*ibid.*, p. 133).

Par cette « insensible résistance », Molières estime ainsi profiter de « tous les avantages du système du Vuide, sans rien perdre des avantages du système du Plein » et réunir « par là deux idées qui avoient paru jusqu'à ce jour incompatibles »¹. En effet, « pour ceux même qui sont le plus attachés aux idées Cartésiennes ; [...] rien ne leur sera plus facile que de ramener ces précieuses découvertes [de Newton] au système du Plein ; les calculs y seront tous faits, & il n'y aura plus qu'à leur donner une certaine tournure pour en profiter avantageusement ». Au sujet du vide, Newton établit que les espaces célestes n'offrent pas de résistance, affirmation rendue maintenant commune aux deux systèmes : le « *Vuide* » de Newton, « chez les Cartesiens ce [...] ne sera précisément qu'un *Vuide relatif* » et « rien ne les empêchera de penser encore que cet espace est étendu, impénétrable, divisible, capable d'impulsion, de mouvement & de force, comme tout le reste de la matière ; & qu'il contient en soi toute la force de l'Univers »².

DE LA MECANIQUE RATIONNELLE AU MECANISME

Dans ses *Leçons*, Molières énonce un ensemble axiomatique composé d'une série de propositions de mécanique rationnelle dont le but final est de justifier l'existence et la permanence des petits tourbillons et, ainsi, de légitimer un principe explicatif des phénomènes naturels basé sur les forces centrifuges de ceux-ci. C'est à partir de ces propositions admises par la communauté scientifique et à l'aide des petits tourbillons que Molières prétend établir la compatibilité des lois de Kepler avec le mécanisme. Launay et Gamaches proposent un résumé des analyses de Molières et Keranflech évoque brièvement ce contenu des *Leçons*³. Outre ces raisonnements que Gamaches reproduit, ce savant s'appuie aussi sur des lois expérimentales des frottements solides reconnues à l'époque qu'il adapte aux frottements de couches de petits tourbillons, ce qui lui permet de montrer que la révolution de ces tourbillons vérifie bien la troisième loi de Kepler. Pour ces différents auteurs, il s'agit donc de répondre aux difficultés soulevées par Newton à l'encontre d'une physique tourbillonnaire et d'asseoir la validité du « mécanisme réformé » des petits tourbillons, mécanisme qui s'appuie alors sur des lois et des propositions admises et qui permet de retrouver théoriquement les lois observationnelles de Kepler.

LES PROPOSITIONS MECANIQUES

La Proposition III de la Leçon I des *Leçons de physique* donne une définition de la vitesse et de la force d'un corps en mouvement en introduisant les concepts d'espace, de temps et

1 Molières [1734], Leçon V, Proposition XI, p. 401-403.

2 *Ibid.*, p. 402-403.

3 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 34-35. Les paragraphes ci-dessous explicitent les raisonnements de Molières en relevant les propositions correspondantes chez Gamaches et Launay.

masse¹, et la suivante un énoncé assimilable au principe d'inertie². Les Propositions V et VI concernent les compositions de forces parallèles et obliques³. A l'action de deux forces peut se substituer celle d'une seule, résultante de celles-ci⁴, et il s'ensuit, avec les Propositions VIII à XII, l'équilibre de deux et trois puissances analysé par le biais de compositions de forces, cet équilibre survenant en appliquant une puissance égale et opposée à la résultante des autres⁵. De telles propositions, classiques, figurent notamment dans la *Nouvelle Mécanique* de Varignon, en particulier cette manière de penser l'équilibre (et les conditions d'équilibre sur les machines simples) par le biais de compositions et de décompositions de forces⁶. Molières s'attache enfin aux mouvements finaux lors de collisions de corps durs : dans un premier temps, deux globes se percutent frontalement⁷, puis un mobile rencontre orthogonalement un plan « inébranlable »⁸ et, enfin, il percute obliquement cette même surface⁹.

L'étude de dernier type de collision, objet de la Proposition XV, s'appuie sur la résolution du mouvement initial en une composante normale au plan et une autre parallèle : cette première détruite, seule la seconde subsiste et elle correspond alors au mouvement final du mobile. Ainsi, « si un Globe se mouvant uniformément rencontre un plan inébranlable dans une direction oblique au plan. Sa force ou sa vitesse avant le choc étant représentée par le sinus total ; 1°. La force avec laquelle il frappe le plan sera représentée par le sinus du complément de l'angle d'incidence. 2°. La force ou la vitesse qui lui demeurera après le choc par le sinus de l'angle d'incidence. 3°. La force ou la vitesse qu'il perdra, par le sinus verse : Et [...] ces forces auront ces sinus pour directions & seront entr'elles comme ces sinus ». La démonstration repose sur la Proposition XIV permettant d'établir que la composante orthogonale est détruite ; il s'ensuit, le mobile ne pouvant pas rebondir, que son mouvement final (R) appartient au plan percuté. Molières introduit ensuite une force (F) capable d'équilibrer ce dernier mouvement : l'équilibre impose, d'une part, que cette force appartienne au plan défini par la direction du mouvement oblique incident (I) et celle de la réaction (G) de la surface puis, d'autre part, que F , G forment un parallélogramme dont I correspond à une diagonale. Dès lors, les quantités F et R sont égales à la composante parallèle à la surface du mouvement I . Molière utilise indifféremment force, mouvement ou vitesse, les décompositions correspondent à celles de quantités de mouvement¹⁰.

La Proposition I de la Leçon II repose sur cette Proposition XV. Elle stipule (Fig. 11) qu'

-
- 1 Molières [1734], Leçon I, Proposition III, p. 9 : « *La Vitesse d'un mobile est l'espace qu'il parcourt, divisé par le tems qu'il est à le parcourir. Et sa Force est le produit de sa masse par sa vitesse* ». Les concepts ne sont pas définis autrement que par les relations mathématiques qui les unissent. Ainsi, Molières ne précise pas ce qu'il entend par « masse ». Par ailleurs, cette Leçon s'intitule « Des Loix Generales du Mouvement Uniforme » : les forces se voient définies par des vitesses constantes, autrement dit, leurs intensités sont identifiées à des quantités de mouvement.
 - 2 *Ibid.*, Proposition IV, p. 18 : « *Un Corps en repos demeurera de lui-même en repos. Et un Corps en mouvement continuera de lui-même à se mouvoir uniformément en ligne droite. Et s'il est contraint de se mouvoir en ligne courbe, il tendra à chaque point de la courbe qu'il décrira, à parcourir la Tangente de la courbe en ce point* ». La persistance en chacun de ces deux états repose sur la passivité de la matière, « un corps ne pouvant de lui-même apporter aucun changement à sa disposition actuelle ».
 - 3 *Ibid.*, voir Proposition V, p. 21-22 pour un corps soumis à des forces de même direction passant par le centre de gravité du point et qui se meut alors selon cette ligne avec pour résultante la somme ou la différence des forces. Pour la Proposition VI, p. 25 : « *un Corps mû par deux forces, dont les directions forment un angle, parcourra uniformément la Diagonale du Parallélogramme, dont les côtés pris sur ces directions seront entr'eux comme ces forces ; & cela dans la même tems qu'il parcourroit l'un ou l'autre côté par l'une ou l'autre des forces* ».
 - 4 *Ibid.*, Proposition VII, p. 30.
 - 5 *Ibid.*, Proposition VIII à IX, p. 39-43 pour l'équilibre entre deux forces agissantes sur un même corps et Propositions X à XII, p. 43-55 pour l'équilibre de trois puissances.
 - 6 Varignon, *Nouvelle Mécanique*, t. I, p. 3-10 pour une axiomatique proche de celle de Molières résumée ci-dessus.
 - 7 Molières [1734], Leçon I, Proposition XIII, p. 55-60.
 - 8 *Ibid.*, Proposition XIV, p. 60-64 : « *si un Globe A [...] se meut uniformément dans une ligne droite [...] perpendiculaire à un plan inébranlable MM, rencontre ce plan en un point N ; le mobile A demeurera en repos au point N* ».
 - 9 *Ibid.*, Proposition XV, p. 64-65.
 - 10 *Ibid.*

un Globe A [...] contraint de se mouvoir le long d'une ligne courbe MM, 1°. ne perdra de sa vitesse, sur chacun des points N de la courbe, qu'une quantité infiniment petite du second ordre. 2°. Frapera ou pressera chacun des points de la courbe, avec une force infiniment petite du premier ordre, dont la direction sera la perpendiculaire PN, sur la tangente NT de la courbe en ce point. 3°. Et continuera de se mouvoir uniformément dans la courbe avec la même vitesse¹.

Molières considère tout d'abord un polygone EAQ (Fig. 12) sur lequel il suppose un mouvement uniforme de A avec l'angle \widehat{EAO} fini. OEQ représente une demi-circonférence de centre A et de rayon AE, avec EI parallèle à MM, ER et IQ perpendiculaires à ce même plan. Après avoir franchi EA, MM détourne A dans la ligne AQ. D'après la Proposition XV, CA, ID et ER correspondent à la « force dont le mobile presse le plan au point N », et cette force détruite, le corps parcourt alors AD dans le temps employé à décrire EA, avec EA et AD qui expriment respectivement les vitesses avant et après le choc². OR (ou DQ) représente l'excès de la vitesse initiale sur AD (*ibid.*, p. 79). Or, la courbe MM (Fig. 1) peut s'identifier à un polygone EAQ d'un nombre infini de côtés eux-mêmes « infiniment petit », avec l'angle \widehat{EAO} « moindre qu'aucun angle rectiligne donné ». Il suit que le sinus de \widehat{EAO} qui est ER est « un infiniment petit du premier ordre, par rapport au sinus EC ou AR ou AD de son complément EAP, qui dans ce cas ne diffère d'un angle droit que d'une quantité infiniment petite » (*ibid.*, p. 80-81). Puisque $\frac{OR}{RE} = \frac{RE}{RQ}$ (par construction, RE est moyenne proportionnelle de OR, RQ, OEQ formant un triangle rectangle en E, avec ER une hauteur), « on voit que de même que (dans le cas que le polygone EAQ est une courbe) RE est un infiniment petit par rapport à RA, ou RQ, OR sera infiniment petit par rapport à RE. Donc OR ou DQ (qui ne cesse pas dans ce cas d'exprimer toujours l'excès de la première vitesse EA du mobile sur la seconde AR ou AD) est un infiniment petit du second ordre, par rapport à RA ou AD, qui ne cesse pas aussi dans ce même cas d'exprimer la seconde vitesse AD du mobile » (*ibid.*, p. 81-82)³.

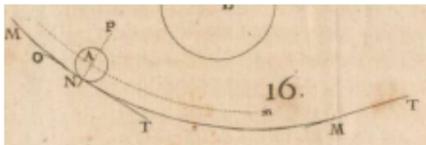


Fig. 11 : Molières [1734], Planche III, fig. 16

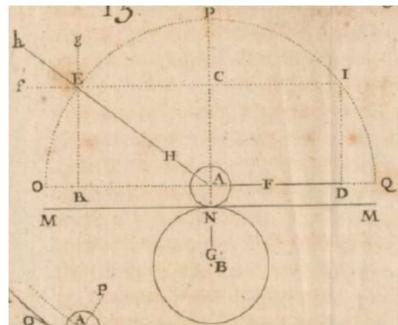


Fig. 12: Molières [1734], Planche III, fig. 15

Ainsi, la différence entre les vitesses initiale et finale (après le choc et la discontinuité du plan) est du deuxième ordre et

1 *Ibid.*, Leçon II, Proposition I, p. 77-78.
 2 Molières considère les vitesses uniformes et prend des durées de parcours des espaces EA et AD identiques. Ces segments pris infiniment petits expriment les vitesses bien que celles-ci soient finies.
 3 RE est infiniment petit par rapport à EC ou AR ou AD donc il l'est par rapport à RQ. Puisque $\frac{OR}{RE} = \frac{RE}{RQ}$, OR est infiniment petit par rapport à RE : comme RE l'est aussi par rapport à RA, qui lui-même est infiniment petit, OR est donc du deuxième ordre. En réalité, ER est du deuxième ordre (il est le produit du sinus d'un angle infiniment petit - l'angle de contingence - par un côté EA infiniment petit) et OR du troisième ordre. Mais il faut remarquer, ici, que les vitesses sont instantanées et donc finies : bien que EA soit un élément infiniment petit, la vitesse initiale qu'il représente est finie et, ainsi, la grandeur géométrique OR du troisième ordre représente une perte de vitesse du deuxième ordre.

quoique le nombre des côtés infiniment petits d'une courbe MM soit infini le mobile A ne perdra de sa vitesse en les parcourant tous, quelque longue que puisse être la courbe, qu'une quantité infiniment petite du premier ordre, & qu'on est en droit de négliger. Donc enfin un mobile décrivant une courbe quelconque, parcourra toujours, en tems égaux, des portions égales de la courbe ; où le mobile s'y mouvra uniformément (*ibid.*, p. 82-83)¹.

Par ailleurs, le mobile presse chaque point de la courbe « par une force infiniment petite du premier ordre par rapport à RA ou AD »², à savoir ER . Le corps agit ainsi sur la courbe avec une force orthogonale à sa tangente, pression identifiée à une force centrifuge³.

Dans un mémoire de 1728, que reproduisent en le développant les Leçons I et II, Molières se réfère à Varignon et reconduit les conclusions de ce dernier concernant l'ordre des pertes de vitesses pour les mouvements sur des courbes assimilées à des polygones⁴. Fontenelle note que « le grand principe que M. Varignon emploie, c'est celui des Mouvements composés, sur lequel il a autrefois fondé toute sa Méchanique » ; un mouvement oblique sur un plan se concevant « comme composé de deux autres mouvemens ; l'un perpendiculaire, & l'autre parallele », ce premier étant détruit⁵ ; le secrétaire de l'Académie se réfère ici au *Projet d'une nouvelle méchanique* de 1687. Or, dans la *Nouvelle Mecanique* de 1725, réédition considérablement augmentée de ce premier livre, Varignon reprend ce « grand principe » qu'il applique aux cas de collisions directe et oblique ; cette décomposition et destruction de la composante normale lui permet de déterminer la vitesse finale (intensité et direction) d'un mobile lors d'un choc oblique⁶. A sa suite, Mairan développe aussi ces exemples de chocs qui ressortissent de la catégorie « d'éléments de Méchanique »⁷. Ces chocs, puis l'étude du mouvement sur des plans contigus, avec un traitement et des conclusions identiques à celles de Varignon, figurent dans l'édition commentée des *Principia* de Newton de Le Seur et Jacquier, chez Trabaud et chez la marquise Du Châtelet dans l'édition de 1742 de ses *Institutions Physiques*⁸. 's Gravesande traite du mouvement sur ces plans en précisant que

-
- 1 Pour une proposition semblable voir Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 135-136 et Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 35-37.
 - 2 Molières [1734], Leçon II, Proposition I, p. 84.
 - 3 *Ibid.*, p. 86. Voir Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 136 ; Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 36-38. Il est à noter que la force centrifuge ne s'identifie pas ici à une grandeur qui n'apparaîtrait qu'en présence d'un référentiel non inertiel mais qu'elle se voit introduite du simple fait d'un mouvement selon une trajectoire courbe. Une telle interprétation de cette force s'avère courante à l'époque, voir sur ce point Domenico Bertoloni Meli, « The Relativization of Centrifugal Force », *Isis*, 81, 1990, p. 23-43.
 - 4 Molières, *Loix générales du mouvement dans le tourbillon sphérique*, MARS 1728 (1730), p. 247 : établissant que sur une courbe un corps perd à chaque point un infiniment petit du deuxième ordre de sa vitesse finie, Molières écrit que « ce principe a été démontré par M. Varignon ». Il se réfère ici au mémoire de Varignon, *Maniere de discerner les vitesses des corps mus en lignes courbes*, MARS 1704 (1745) p. 286-306, voir en particulier p. 293. Varignon établit que la grandeur géométrique que Molières note OR (Fig. 2) est du deuxième ordre par rapport à la grandeur finie EA en considérant l'angle \widehat{EAO} infiniment petit. Il généralise ensuite pour des côtés EA , AD infiniment petits lesquels sont parcourus par des vitesses finies. Ces recherches de Varignon sont initialement déterminées par le soucis de corriger une erreur de Galileo Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze*, Leida, Elsevirii, 1638, p. 190-191 qui dans son Théorème X considère que sur des plans contigus les vitesses d'un mobile suivent la loi de chute libre, autrement dit qu'elles sont proportionnelles aux racines des hauteurs verticales, les angles entre les plans n'affectant pas la loi d'évolution de ces vitesses. Dès 1693, Varignon récuse ce théorème dans son mémoire *Des poids qui tombent ou qui montent le long de plusieurs plans contigus*, MARS 1666-1699, t. X, 31 décembre 1693, p. 438-444.
 - 5 Fontenelle, *Sur les vitesses des corps mus suivant des courbes*, HARS 1704 (1745), p. 106-107. Pour cette méthode, voir Varignon, *Maniere de discerner les vitesses des corps mus en lignes courbes*, p. 291.
 - 6 Varignon, *Nouvelle Mécanique*, t. I, p. 35-36.
 - 7 Mairan, *Recherches physico-mathématiques sur la reflexion des corps*, MARS 1722 (1724), p. 8. Fontenelle signe l'approbation à la publication de la *Nouvelle Mécanique* de Varignon après examen du livre par, entre autres, Dortous de Mairan, voir *Procès verbaux de l'Académie royale des sciences de Paris*, séance du 6 décembre 1724, tome 43, f°357.
 - 8 Thomas Le Seur et François Jacquier, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica. Auctore Isaaco Newtono. Perpetuis Commentariis illustrata*, Genève, Barrillot & Filii, 1739-1742, t. I, note 51, p. 31. Voir Trabaud, *Principes du mouvement*, p. 191-194. Voir Du Châtelet, *Institutions physiques*, p. 367-375.

l'évolution de la vitesse suit la loi de chute libre¹. Enfin, D'Alembert, en 1743, tout en offrant un traitement mathématique et des conclusions différents, reconduit ces exemples². Chez ces auteurs, comme chez Molières, se retrouve la séquence de rédaction suivante : 1° composition/résolution de forces ; 2° chocs direct et oblique avec, pour ce dernier, la résolution en deux composantes, une détruite, l'autre égalant le mouvement final ; 3° mouvement sur des plans contigus, comme application du cas précédent³. En somme, les principes et méthodes appliquées par Molières s'avèrent largement répandues et c'est sur cette mécanique rationnelle qu'il entend enraciner le mécanisme.

LE MECANISME DES TOURBILLONS AVEC DES CORPS DURS

Le corps A (Fig. 11) et la surface MM de la Proposition I de la Leçon II deviennent respectivement un « globule » dur et un cercle, avant que ce dernier ne soit remplacé par une surface sphérique remplie d'autres corpuscules durs. A leur tour, ces derniers se voient remplacés par des petits tourbillons : Molières entreprend alors la genèse des tourbillons célestes en s'appuyant sur le contenu des propositions précédentes.

D'après la Proposition I de la Leçon II, par un mouvement le long d'une surface circulaire rigide, un corpuscule conserve sa vitesse. Molières suppose alors que de « très petits globules égaux », durs, remplissent un cercle qui « les retient tous dans ce plan » et qu'ils « y circulent chacun avec une égale vitesse »⁴ autour d'un même centre. Finalement, c'est « comme si chacune des couches supérieures [celles plus éloignées du centre et remplies de corpuscules] étoient des courbes inflexibles, le long desquelles les points de la couche inférieure se mouvraient uniformément »⁵. Sans « viscosité, ni inégalité dans leurs superficies, [...] ils [les corpuscules] n'ont rien qui puisse empêcher ou retarder leur mouvement »⁶. Par ailleurs, la vitesse perdue en chaque point est un infiniment petit du deuxième ordre. Ainsi, « la force avec laquelle le mobile frotte la courbe, ou tend à entraîner ses parties, lorsqu'elle ne cède pas à la pression, n'est qu'un infiniment petit, par rapport à l'effort centrifuge par lequel le mobile presse la courbe, & à la force avec laquelle la vitesse du mobile agiroit contre les parties de la courbe, si la courbe cédoit à l'effort centrifuge du mobile » ; dès lors, « on ne doit pas considérer le frottement du mobile » et chaque particule conserve alors sa vitesse⁷.

Deux corps A et B , distants du centre de rotation de d et D s'éloignent de ce point par leurs forces centrifuges f et F qui suivent la proportion $\frac{f}{f} = \frac{d}{D}$ puisque Molières se place toujours

-
- 1 Willem Jacob 's Gravesande, *Elemens de physique demontrez mathematiquement, et confirmez par des experiences ; ou introduction a la philosophie newtonienne* (trad. de la 3^e éd. de 1742), Leide, J. A. Langerak et J. et H. Verbeek, 1746, t. I, p. 95.
 - 2 D'Alembert, *Traité de dynamique* (1743), p. 33-37. D'Alembert n'assimile pas la courbe à un polygone, et pour lui la vitesse perdue lors du trajet est exactement nulle et non infiniment petite.
 - 3 Les chocs oblique et direct et le mouvement sur des plans apparaissent dans deux travaux distincts chez Varignon, respectivement dans sa *Nouvelle Mécanique* et les deux mémoires de 1693 et 1704.
 - 4 Molières [1734], Leçon II, Proposition IV, p. 101.
 - 5 *Ibid.*, p. 105-106. Molières considère le mouvement sur un cercle, puis à l'intérieur de surfaces cylindrique et sphérique. Pour sa part, Gamaches ne prend en compte qu'une « courbe quelconque » puis une trajectoire circulaire sur la surface concave d'une sphère creuse et dure, cette dernière représente les bornes d'un tourbillon céleste. Voir Gamaches, *Astronomie physique*, p. 136-137. Puisque « un tourbillon est composé d'une infinité de couches sphériques », et que « les couches inférieures agissent de tous côtés sur celles qui les renferment », le mouvement sur cette surface revient aussi à celui d'un corps compris dans une couche. *Ibid.*
 - 6 Molières [1734], Leçon II, Proposition IV, p. 99. Gamaches aborde le mouvement d'un corps dur dans une matière « infiniment pénétrable » (*Astronomie physique*, p. 136) érudant ainsi le problème des frottements dans ces propositions. Il y revient cependant longuement dans son livre, voir ci-dessous.
 - 7 Molières [1734], Leçon II, Proposition IV, p. 99-100. Dans la Proposition I de cette Leçon II, Molières note que ER (Fig. 2) représentant la pression exercée sur la surface était un infiniment petit du premier ordre ; c'est ce qu'il nomme ici « l'effort centrifuge ». En somme, en notant F cet « effort », la différentielle dv au premier ordre correspond à l'élément de vitesse associée, tandis que la perte de vitesse le long de la courbe est du deuxième ordre.

sous l'hypothèse que les corps possèdent « une égale vitesse » linéaire¹. *A*, plus proche du centre, fait davantage d'effort pour s'en éloigner que *B* et « il semble » que celui-là doive « monter » tandis que l'autre « descend » (*ibid.*, p. 101-102). Mais tous les corps placés sur la circonférence décrite par *A* possèdent une même force centrifuge et « doivent tous tendre unanimement à monter, & à contraindre tous ensemble » *B* à descendre : pour chacun des corpuscules sur le même cercle que *B*, « il est également clair que l'un de ces points ne doit pas plutôt descendre que l'autre, & qu'ils doivent tous s'opposer unanimement à leur descente ». Aussi, pour juger si *A*, en raison de sa force centrifuge doit s'élever ou perdre de son mouvement qu'il communique aux corpuscules des couches supérieures, il faut tenir compte de « la somme des forces centrifuges de tous les points de la circonférence » décrite par chaque mobile (*ibid.*, p. 102-103). Soit, *S* et *s* « la somme des points » des circonférences suivies par *A* et *B*, $S \times F$ et $s \times f$ représentent les forces centrifuges des couches : *S* et *s* suivent la proportion $\frac{s}{S} = \frac{d}{D}$ (avec *d* et *D* proportionnels aux diamètres des cercles) qui combinée avec $\frac{F}{f} = \frac{d}{D}$ donne $S \times F = s \times f$. Molières en conclut que

quoique chaque point inférieur ait plus de force centrifuge que chaque point supérieur, les forces de tous les points inférieurs prises ensemble ne peuvent vaincre celles de tous les points supérieurs prises aussi ensemble ; ces forces demeurent donc en équilibre, & dans l'état où elles se trouvent (*ibid.*, p. 104-105).

Ce plan circulaire peut aussi correspondre à la coupe d'un cylindre perpendiculairement à son axe de révolution qui contient des globules animés d'une même vitesse. Pour les mêmes raisons que précédemment, ces corpuscules conservent leurs vitesses : ils tendent à s'éloigner de l'axe et chaque couche cylindrique possède une même force centrifuge ; le rapport des forces centrifuges qui agissent sur des corps de couches différentes suivent les proportions inverses de leurs distances à l'axe².

Molières suppose ensuite une sphère remplie de globules inscrite dans un tel cylindre dont l'axe de révolution se confond avec le diamètre *XZ* (Fig. 13). Les globules circulent sur des cercles parallèles à la base du cylindre dont les centres appartiennent à *XZ*. Un globule *C* en mouvement sur *Cmn* de centre *I* presse la surface sphérique avec une partie de sa force centrifuge : en vertu de la Proposition XV de la Leçon I seule la composante orthogonale au plan tangent en *C* à la sphère et dont la droite d'action passe par le centre *O* agit sur cette sphère³. Ce qui vaut pour *C* vaut aussi pour tous les autres corpuscules et « chacun des globules compris dans une même couche sphérique concentrique à la superficie du Globe, pressera la couche qui la précède avec une force », que Molières nomme « centrale », qui « passe par le centre du globe »⁴. Ensuite, Molières établit l'égalité entre les forces centrales et centrifuges pour des globules situés dans le plan équateur *MAN*, ainsi que l'égalité des forces centrales pour une même couche sphérique⁵.

1 Molières [1734], Leçon II, Proposition IV, p. 100-101.

2 *Ibid.*, Proposition V, p. 107. Voir Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 40-42.

3 Molières [1734], Leçon II, Proposition VI, p. 117-120. Voir Gamaches, *Astronomie physique*, p. 138-140. Gamaches énonce ensuite la conservation de la vitesse d'un globule comme *C* (Fig. 13), le choc sur la surface sphérique ne faisant perdre à la vitesse qu'une différentielle du deuxième ordre, *ibid.*, p. 140.

4 Molières [1734], Leçon II, Proposition IV, p. 114. Voir Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 42-57. Launay évoque indifféremment le mouvement d'un « globule » sur une surface « solide » ou « fluide », concevant les deux « également propres à retenir un mobile dans sa circulation, & à lui servir de point d'appui », *ibid.*, p. 54.

5 Molières [1734], Leçon II, Proposition VII, p. 121-128. Concernant cette égalité des forces centrales, Molières considère des « points » *a* et *c* (Fig. 13) sur les cercles *AMNN* et *Cmn* : *a* et *c* possèdent la même vitesse (par hypothèse) et d'après la Proposition IV, parvenus en *A* et *C* leurs forces centrifuges *F* et *f* suivent la proportion $\frac{F}{f} = \frac{CI}{AO}$. Or, $CO = AO$ et, au niveau de l'équateur, $P = F$, avec *P* la force centrale que subit *A*, ce qui conduit à $\frac{P}{f} = \frac{CI}{CO}$. Mais, dans le cercle *Cmn*, la force centrale *p* agissant sur *C* suit aussi la relation $\frac{p}{f} = \frac{CI}{CO}$. Ainsi, $P = p$, résultat généralisé pour toutes les autres couches. *Ibid.*, p. 122-125. Voir Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 57 et p. 58-60.

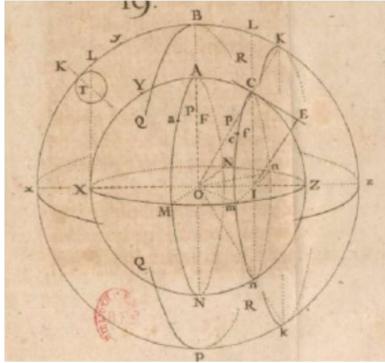


Fig. 13 : Molières [1734], Planche IV, fig. 19

LES LOIS DE KEPLER

Un tel tourbillon placé dans « une matiere homogene & sans mouvement s'y étendra également de toute part de telle sorte que les points compris dans une même couche sphérique, circuleront tous avec une égale vitesse »¹. Que la « superficie Y » (Fig. 3) englobant les corpuscules disparaisse, ceux-ci possédant une même vitesse et pour une même couche une même force radiale, ils communiquent en même temps « des quantités égales de force & de vitesse » à la matière supposée au repos comprise entre *Yy* (*ibid.*, p. 136). De proche en proche, « tout le mouvement compris dans l'intervalle *OY* se distribuera dans tous les points compris dans l'intervalle *Oy*, de telle sorte que tous les points d'une même couche quelconque sphérique conserveront une égale vitesse, & que tous ces points formeront tous ensemble un plus grand Tourbillon sphérique » (*ibid.*, p. 137). A mesure de l'expansion, les vitesses de tous les points, supposées d'abord égales, diminuent de telle sorte que les globules d'une couche donnée possèdent une même vitesse et par conséquent une même force centrale². Lors de ces communications des mouvements, « les points compris dans les couches superieures ne retiendront de leurs forces & de leurs vitesses à mesure que le Tourbillon s'étendra, qu'autant qu'il est nécessaire qu'ils en retiennent, pour faire équilibre avec les points inférieurs, ou contrebalancer leurs efforts » (*ibid.*, p. 140).

Un globule *A* (Fig. 13), plus proche du centre *O* que *B*, « aura pu retenir plus de force centrale » : ainsi, en ne considérant que les forces de *A* et *B*, le premier doit « monter & contraindre » l'autre « descendre » (*ibid.*, p. 141). Mais tous les corps situés dans la même couche que *A* possèdent une même force centrale et, par conséquent, « il n'y aura pas plus de raison que l'un monte que l'autre ; & [...] ces globules conspireront tous [...] à monter avec une égale force » ; réciproquement, « il n'y aura pas [...] plus de raison que le globule *B* soit contraint de descendre, que chacun des globules » voisins (*ibid.*)³ Pour juger du mouvement centrifuge ou centripète des corps, il faut comparer entre elles « la somme des forces centrales » des globules d'une couche : si celle des points des couches inférieures (proches du centre) excèdent celle des supérieurs, les premiers perdent de leur force et communique de leur vitesse ; dans le cas contraire, les corps des couches supérieures communiquent leur mouvement aux globules encore au repos du fluide dans lequel est placé le globe⁴. Le *terminus ad quem* de cette expansion et de ces communications est une égalité des sommes des forces de chaque couche⁵ : dans cette circonstance, toutes les couches supérieures se

1 Molières [1734], Leçon II, Proposition VIII, p. 128.

2 *Ibid.*, Proposition IX, p. 139-140.

3 Pour l'équilibre des couches concentriques et l'égalité des forces centrifuges de chaque « corps » d'une même couche, voir Gamaches, *Astronomie physique*, p. 140-141.

4 Molières [1734], Leçon II, Proposition IX, p. 142-143.

5 *Ibid.*, p. 143-144. Voir Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 71-72.

comportent comme des « courbes inflexibles » à l'égard des corpuscules des couches inférieures¹.

L'équilibre de deux couches dont les points éloignés des distances $D (= OA)$ et $d (= OB)$ du centre O (Fig. 3) possèdent deux forces centrales P et p implique $S \times P = s \times p$ (1) (S et s représentant la « somme des points » ; pour cette relation voir ci-dessus la Proposition IV)².

Or, $\frac{S}{s} = \frac{D^2}{d^2}$ (la « somme des points » contenus dans les superficies sphériques sont comme ces superficies) qui, combinée avec (1) donne $\frac{P}{p} = \frac{d^2}{D^2}$ (2)³. Par ailleurs, l'égalité entre les forces centrifuges et centrales de A et B situés sur le plan de l'équateur MAN conduit à $\frac{P}{p} = \frac{F}{f}$ (voir

ci-dessus, la Proposition VII) qui avec (2) et $\frac{F}{f} = \frac{v^2}{\frac{v^2}{d}}$ (avec V et v les vitesses uniformes de A

et B), conduit à $\frac{V}{v} = \sqrt{\frac{d}{D}}$ (3), relation généralisable pour tous les points Y et y appartenant aux

couches occupées par A et B ⁴. Enfin, $V = \frac{D}{T}$ et $v = \frac{d}{t}$ (4) (avec T, t les temps de révolution de

A et B) et ceci combiné avec (3) permet de retrouver la troisième loi de Kepler $\frac{T}{t} = \left(\frac{D}{d}\right)^{\frac{3}{2}}$ ⁵.

Ainsi,

le système de Descartes, qui veut que le Tourbillon soit le principe du mouvement des Planetes, ne renferme rien de contraire en ce point aux loix des Mécaniques ; Et est en même tems une confirmation bien expresse de la certitude de nos principes qui n'auroient pû nous conduire jusqu'à un point si éloigné, s'ils n'étoient pas en effet les loix de la Nature⁶.

Cette conclusion se voit corroborée par la démonstration de la loi des aires (deuxième loi de Kepler) dans « le plan de l'Equateur d'un Tourbillon Sphérique »⁷. Supposer le globe rempli de corpuscules durs comme le fait Molières revient à prendre en compte les corpuscules du second élément de Descartes : Molières revendique donc en particulier de retrouver de manière *apriorique* la troisième loi de Kepler dans le système cartésien.

Le dispositif mis en place dans ce raisonnement repose ainsi sur des éléments de mécanique et sur une égalité des vitesses des globules laissant place, lors de la phase d'expansion du tourbillon, à un équilibre de couches. Cette dernière hypothèse permet à Molières, à l'instar de Malebranche dans son *Eclaircissement XVI*, de retrouver notamment la troisième loi de Kepler. Molières se démarque cependant de son aîné par le raffinement apporté à l'exposé déductif allant par degrés croissants de complexité tant dans l'énoncé des propositions classiques de mécanique que dans l'élaboration du tourbillon (prise en compte des seuls corps durs, mouvement dans le cercle, le cylindre puis la sphère). Les Propositions XV et I des Leçons I et II constituent le socle sur lequel il fonde la conservation du mouvement circulaire des globules et l'introduction des forces centrifuges dans le système. Cette façon de former les grands tourbillons « en donnant d'abord à tous ces points une égale

1 Molières [1734], Leçon II, Proposition IX, p. 145.

2 *Ibid.*, Proposition X, p. 147.

3 *Ibid.*, p. 147-148. Voir Gamaches, *Astronomie physique*, p. 143. Voir Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 72-74. Gamaches et Launay fondent leurs démonstrations sur la même hypothèse d'équilibre de couches que Molières.

4 Molières [1734], Leçon II, Proposition XI p. 149-150. Gamaches, *Astronomie physique*, p. 142. Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 76-81.

5 Molières [1734], Leçon II, Proposition XIII, p. 152-153. Gamaches, *Astronomie physique*, p. 144. Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 81.

6 Molières [1734], Leçon II, Proposition XIII, p. 155.

7 *Ibid.*, Proposition XIV, p. 157. La démonstration repose simplement sur le fait que dans le tourbillon sphérique ainsi établi les corpuscules d'une couche donnée circulent tous autour d'un même centre avec la même vitesse uniforme.

vitesse [...] est sans contredit la plus simple, est celle qu'il convient uniquement de supposer dans tous les mouvemens Celestes ; puisque c'est d'elle seule que peuvent émaner les Loix Astronomiques »¹. En somme, l'enchaînement déductif des propositions joint à l'hypothèse « la plus simple » (une même vitesse pour tous les corps) conduit à une loi de la nature que l'expérience confirme. Pour autant, à elles seules, ces propositions ne sauraient rendre raison du processus d'expansion du tourbillon : ce dernier présuppose une conservation globale d'un mouvement originel et se voit limité par un terme, sorte d'enveloppe renfermant toute la matière du monde, qui seul peut causer des pressions de couches justifiant l'application de ces propositions. Tout ceci revient finalement à concevoir un équilibre global dans l'univers, les couches se comportant alors comme des surfaces « inflexibles » les unes à l'égard des autres. En somme, si des aspects strictement mécaniques peuvent justifier l'absence d'une perte de vitesse (Proposition I) et expliciter l'origine des forces centrifuges, ils demeurent subordonnés à des propriétés du système préalablement posées.

DES CORPS DURS AUX PETITS TOURBILLONS

Les surfaces inflexibles

Le système adopté par Molières ne se compose pas de corpuscules durs, mais de petits tourbillons ; il remplace alors les premiers par cette matière « élastique » sans que la différence de nature physique change les raisonnements développés jusqu'à présents. Ainsi, comme les corpuscules durs, ces petits tourbillons ne perdent pas leurs vitesses et, mieux, ils sont plus adaptés, puisque susceptibles de changer de forme à volonté, pour circuler sans frottements entre des couches d'éther. Ces couches constituent aussi des surfaces « inflexibles » (comme les surfaces dures précédentes) pour lesquelles les frottements s'avèrent négligeables puisque les pertes globales des vitesses au bout d'une révolution sont du premier ordre.

Ainsi, un globule dur ne perd rien de son mouvement dans sa circulation sur une courbe (Proposition I, Leçon II), et cette conclusion s'avère appliquée aux petits tourbillons : en supposant qu'un espace clôt renferme une « matière homogène », ses parties étant mutuellement au repos et ne résistant pas, s'il vient à se former des tourbillons, ceux-ci s'agrandissent jusqu'à « s'entre-toucher » et « se balanceront mutuellement ; & [...] tous les points décrivant des circonférences de cercle, ne cesseront (Pr. I. 2) de se mouvoir chacun avec la vitesse qu'il aura enfin acquise selon les lois de la circulation »² ; la « Pr. I. 2 », soit la Proposition I de la Leçon II appliquée jusqu'à présent pour les corps durs, vient ici justifier la conservation du mouvement des petits tourbillons « élastiques » en contacts.

Pour sa part, lorsque Gamaches remplace les corps durs par des petits tourbillons, il semble leur conférer la cohésion naturelle à ceux-là. En effet, « un tourbillon qui se forme dans un fluide peut y subsister de même que s'il étoit enveloppé d'une couche impénétrable » : les « particules » qui le constituent « trouveront toujours plus de facilité à circuler de compagnie, qu'à percer le fluide dont elles seront environnées », car « que les particules qui se sont associées & qui circulent de compagnie, tendent à s'échapper par les tangentes des cercles qu'elles décrivent, il est évident que dès qu'elles trouvent d'autres particules étrangères qui leur résistent, ou par leurs mouvemens, ou par leur inertie, elles sont obligées de se détourner & de se replier vers celles qui les précédent, & qui en avançant elles-mêmes leurs cèdent la place qu'elles abandonnent »³. Le recours aux petits tourbillons, « pour avoir une idée

1 *Ibid.*, Proposition XIII, p. 156.

2 *Ibid.*, Leçon III, Proposition II, p. 167.

3 Gamaches, *Astronomie physique*, p. 150.

complete du Mécanisme de la Nature »¹, ne conduit pas Gamaches à donner de nouvelles démonstrations des lois de Kepler qu'il a établies pour des corps durs de la même manière que Molières : Gamaches s'appuie plutôt sur les petits tourbillons pour réfuter les critiques de Newton et lever l'incompatibilité du mécanisme céleste avec la troisième loi de Kepler (voir ci-dessous). En somme, tout se passe comme si les propositions mécaniques élémentaires identiques à celles de Molières et l'hypothèse de corps durs permettaient d'établir des lois valables pour le système du monde, alors même que Gamaches réfute l'existence de cette dureté en soi. L'évocation d'une « couche impénétrable » enveloppant le petit tourbillon doit être suffisamment évocatrice au point de rendre légitime que ce qui vaut pour des corps durs puisse aussi convenir à d'autres flexibles.

Cette conclusion s'applique aussi à Launay selon lequel l'« équilibre de force entre les couches supérieures & inférieures, fait que les inférieures se meuvent sur les supérieures, comme sur des courbes inflexibles, ou des plans inébranlables »². Ainsi, il n'estime pas « contraire à la perfection du tourbillon » le frottement « que les couches exercent l'une sur l'autre par leur force centrifuge » : en écrivant que ce frottement « ne fait perdre au point de chaque couche dans une circulation entière, qu'une force infiniment petite du premier ordre », Launay transpose la proposition établie pour le mouvement de corps durs sur une surface résistante à la giration d'une matière « souple » sur une autre également « souple »³. Launay résume alors bien la position de ces savants en écrivant que « ni les frottemens, ni l'élasticité, ne peuvent rien changer à la certitude des Propositions, démontrées dans la seconde Leçon [de Molières] ; [...] de-là [...] il est très-certain, que ces loix peuvent convenir indifferemment aux corps à ressort & sans ressort »⁴. Dès lors, ces propositions mécaniques conduisant à des pertes de mouvement négligeables permettent de fonder le système global des petits tourbillons et sa conservation, comme le note Keranflech en 1774 :

en donnant aux moindres parties de l'éther, & généralement des liquides, la forme de *tourbillons*, on rend le mouvement indéfectible, par la propriété du mouvement circulaire, selon laquelle un *tourbillon* qui presse la concavité environnante avec une force finie, ne peut perdre de son mouvement qu'une portion infiniment petite, pendant une durée finie, quelque grande qu'elle soit. C'est pour cela, par exemple, que la propagation de la lumière & du son, la force du tonnerre & de la poudre, les élasticités de différentes sortes de corps, sont immuablement les mêmes depuis le commencement du monde, & que la Nature, ni ne s'affoiblit, ni ne dégénère en aucune sorte. Or nulle autre forme que celle de petits tourbillons, ne lui eût procuré cet avantage, puisqu'il ne peut y avoir de mouvement durable que celui qui rentre en lui-même⁵.

Cette même Proposition I de la Leçon II permet à Molières de conclure que lors de l'agrandissement d'un tourbillon (*A*) au détriment d'un autre (*B*), la « quantité de mouvement » ou la « force mouvante » globale se conserve (Fig. 14). Si *A* circule dans le sens *MNO* et *B* dans le sens *PNQ*, les « points » de *B* entrant dans *A* doivent circuler de *N* vers *O* car ceux de *A* venant à choquer en sens contraire ceux de *B*, « il y a lieu de craindre [...] que [...] les forces contraires de ces points ne se détruisent, & que tant la somme des forces du Tourbillon *A*, que celle du Tourbillon *B*, ne diminue considérablement »⁶. Or, *A* s'agrandit aux dépens de *B* en vertu de sa « force centrale », et « la direction *AR* de cette force qui est du centre *A* à la superficie *MRO* du Tourbillon *A*, n'agissant (Pr 1. 2) que par des secousses infiniment petites, sur la matière du Tourbillon *B*, qui se meut dans la circonférence *PRQ* [...] on verra que la matière qui circule dans la circonférence *MR* du tourbillon *A*, ne peut entraîner

1 *Ibid.*, p. 151.

2 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 104-105 et p. 105-106.

3 *Ibid.*, p. 137.

4 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 115.

5 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 16-17.

6 Molières [1734], Leçon III, Proposition VI, p. 178.

vers RO la matière du Tourbillon B , qui se meut dans la circonférence PR , & qui tend vers Q , qu'il ne lui fasse décrire une courbe $PRNL$, semblable au Folium de Descartes »¹. Or, « un corps qui se meut dans une ligne courbe quelconque, ne perd rien de sa vitesse, ni par conséquent de sa force mouvante », et ce d'après la « Pr. 1. 2 » : dans cet agrandissement du tourbillon A la matière des tourbillons peut ainsi passer dans A « sans que la somme des forces mouvantes de tous ces Tourbillons diminuë »². Un raisonnement identique figure chez Launay³. Ce type d'analyses vaut aussi bien pour les grands tourbillons que pour les petits tourbillons, et elles apparaissent dès 1729 appliquées explicitement à ces derniers⁴.

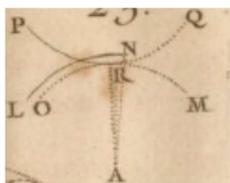


Fig. 14 : Molières [1734], Planche V, fig. 23.

Comme le note Mazière,

il est nécessaire que les corpuscules de la matière subtile, puissent en même tems avoir des mouvemens divers & même contraires ; & que cependant ces mouvemens ne diminuent pas ; car si ces corpuscules perdoient à chaque instant un seul petit degré de leurs forces, en peu de tems ils perdrieroient toutes leurs forces, en peu de tems l'Univers seroit détruit. Il faut donc concevoir que ces corpuscules puissent, sans se choquer, se résister mutuellement par leurs forces centrifuges ; de telle sorte que de deux corpuscules qui se touchent, l'un ne l'emporte par sur l'autre ; car si l'un l'emporte sur l'autre, il n'y aura plus d'équilibre.

Cette absence de choc repose, pour Mazière, sur une « figure sphérique » des petits tourbillons, l'élimination des « irrégularitez » (« les angles, les élévations, les enfoncemens ») implique l'absence d'obstacles qui causent des pertes de vitesse⁵.

Les lois de Kepler dans les tourbillons elliptiques

En supposant maintenant un tourbillon elliptique « rempli de Globules », et non plus un tourbillon sphérique, Molières entend déterminer « le moyen qu'il peut y avoir » que les centres de ces particules circulent autour d'un foyer F avec des vitesses inversement proportionnelles aux racines carrés des rayons vecteurs, autrement dit des vitesses égales à celles prescrites par la troisième loi de Kepler⁶. En supposant que ces « Globules » soient durs et qu'ils circulent dans un cercle $AHKL$ de centre F (Fig. 15), un tel mouvement s'avère possible, mais il est impossible pour une trajectoire elliptique :

dans le même tems que quelqu'un des Globules compris dans la circonférence [circulaire centrée sur le foyer F de l'ellipse] $AKHL$ occupera le lieu K du rayon FK , un autre Globule compris dans la même circonférence occupera le point A ; & dans le même tems que quelqu'un des Globules compris dans la circonférence $ahkl$ occupera le lieu k du même rayon FK , un autre Globule compris dans la même circonférence occupera le point a , & ainsi des autres points compris dans toutes les circonférences

1 *Ibid.*, p. 178-179. Courbe en forme de nœud de ruban, voir lettre de Descartes à Mersenne du 23 août 1638, AT II, p. 307-338.
2 Molières [1734], Leçon III, Proposition VI, p. 179-180.
3 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 95-108.
4 Molières, *Probleme physico-mathématique*, p. 240-241.
5 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 36.
6 Molières, *Probleme physico-mathématique*, p. 235. Voir ci-dessus dans l'établissement de la troisième loi de Kepler pour le tourbillon sphérique la relation (3) qui donne cette relation pour la vitesse.

concentriques. Il n'y aura donc entre A & F qu'autant d'espace qu'il en faut, pour que tous les Globules compris dans le plan du cercle $AHKL$ circulent dans le rapport supposé des vitesses. Et partant les Globules compris entre K & C , & dans tout le reste M , M , de l'Ellipse, ne pourront circuler en même temps autour du foyer F , à moins qu'il n'augmentent à chaque instant qu'ils passeront par l'espace FA , la vitesse des points précédents qui passent en même temps par le même espace (*ibid.*, p. 235-236).

Les corpuscules durs de Descartes ne peuvent donc suivre une trajectoire elliptique en respectant la loi d'évolution des vitesses énoncée ci-dessus. La solution apportée par Molières et Launay passe par une substitution de cette matière dure par des petits tourbillons « comme a fait le P. Malebranche » (*ibid.*, p. 236)¹.

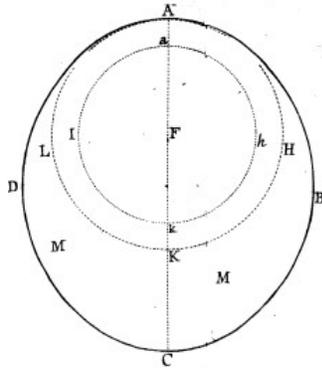


Fig. 15 : Molières, *Probleme* (1731), Pl. 17, fig. 1 p. 244

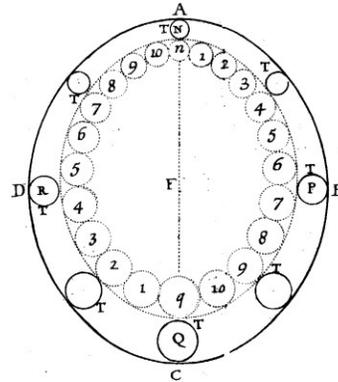


Fig. 16 : Molières, *Probleme* (1731), Pl. 17, fig. 3 p. 244

Ainsi, le tourbillon T (Fig. 16) allant de N vers Q , passe d'un milieu possédant plus de vitesse et où « les points qui le composent, rencontrent par conséquent plus de résistance à leurs circulations particulières autour de son propre centre » dans un autre qui en a moins : N s'agrandira « aux dépens de ceux qui l'entoureront à mesure qu'il avancera de N en P jusqu'à ce qu'il soit parvenu en Q » ; inversement, retournant en N , il rencontre davantage de résistance à sa rotation et « les petits Tourbillons qui l'entoureront ayant plus de force centrifuge autour de leurs propres centres, que le Tourbillon T en a, [ils] s'aggrandiront à ses dépens, & son volume diminuera » de telle sorte qu'il se retrouve dans son état initial en N ². Alors, si n , 1, 2, 3, 4 etc. et q , 1, 2, 3, 4 etc. représentent des « rangées de petits Tourbillons », dans la première série, n circulant de n vers 1 s'agrandit « aux dépens du Tourbillon 1, & de ceux qui le touchent tant en dessus qu'en dessous, & qu'à côté du même Tourbillon 1 », et il devient aussi grand que 1 lequel, pour sa part, parcourt 1-2 jusqu'à acquérir la taille de 2 selon le même processus etc. ; q franchissant l'espace $q-1$ « sera réduit par les Tourbillons environnants qu'il rencontre à la grandeur du Tourbillon 1 » etc. (*ibid.*, p. 238).

Le principe général repose ainsi sur l'idée que si un tourbillon possède plus de force centrifuge, sa taille augmente par l'entraînement d'une partie de la matière des voisins, et ce jusqu'au moment où à son tour il subit cette perte de matière (*ibid.*, p. 236-237). La « résistance » évoquée ci-dessus ne renvoie pas à la prise en compte de l'inertie de la matière ou de l'adhérence de ses parties, mais à la pression que les tourbillons voisins exercent³. Avec cette circulation et la plasticité des petits tourbillons, ceux compris entre F et A n'occupent que l'espace FA mais peuvent aussi occuper l'espace FC , tout en se mouvant autour du foyer F en suivant la bonne loi des vitesses (*ibid.*, p. 238-239). Ceci fonde aussi la possibilité d'un mouvement autour d'un foyer de telle sorte que la loi des aires de Kepler soit respectée en

1 Voir Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 128-133.

2 Molières, *Probleme physico-mathématique*, p. 237-238.

3 L'accélération au niveau du périhélie correspond au rétrécissement des couches de matières, soit à une plus grande compression de l'éther et une plus grande force de ses tourbillons.

supposant les planètes emportées par un fluide ; il s'agit là d'une réponse apportée à une critique de Newton¹.

Molières utilise ici une loi pour les vitesses de circulation énoncée pour des tourbillons sphériques et appliquée à des circulations elliptiques. Dans ses *Leçons*, il montre géométriquement que la loi des aires implique une certaine loi d'évolution de la vitesse d'une planète dans son orbe elliptique². En 1733, Molières établit qu'en supposant des planètes emportées par des circulations elliptiques, la loi des aires et la troisième loi de Kepler ne sont pas incompatibles³. Pour se faire, il s'appuie sur le fait que « Newton a démontré [...] que si dans un espace non résistant, deux mobiles [...] décrivent des circonférences elliptiques [...] qui aient un foyer commun [...] & que ces mobiles tendent à s'approcher du point [foyer] en vertu d'une force *centripete*, qui croisse & décroisse en raison inverse des quarrés de leurs distances » alors les lois de Kepler sont vérifiées⁴. Par conséquent en s'appuyant sur les calculs de Newton, il suffit de

démontrer qu'il peut y avoir dans le Tourbillon une disposition purement mécanique, qui produise dans tous les points de son Equateur, les mêmes effets que la force centripete, supposée par M. Newton [...] & que par conséquent l'on puisse substituer cette disposition du Tourbillon, à la place de la force centripete de M. Newton, sans rien changer à sa démonstration pour tout le reste ; on aura trouvé dans le Tourbillon tout ce que M. Newton tire de sa force centripete, sans qu'il soit nécessaire d'admettre pour principe une telle force dans la nature (*ibid.*, p. 306-307).

Or, les recherches sur les tourbillons sphériques donnent une telle force avec cette loi de variation « en raison inverse des quarrés », et les forces centripètes naissent de la réaction des forces centrifuges radiales sur les couches de tourbillons extérieures. Molières note que dans un tourbillon elliptique qui diffère peu du sphérique « il s'en faudra peu que ces forces ne soient dans le même rapport » (*ibid.*, p. 309-310). Suivant Molières,

si ce n'est qu'à peu-près que les points du Tourbillon [elliptique] aient cette force qui croît & décroît en raison inverse du quarré de la distance, les aires que ces points décriront ne seront aussi qu'à peu-près proportionnelles aux temps ; ce qui sera encore plus conforme aux observations astronomiques qui donnent ces à *peu-près*, & non ces précisions géométriques auxquelles on voudroit réduire le

- 1 Newton, *Principes*, TMC, II, Scholie, p. 426-427. Newton considère des orbes autour du Soleil, la plus extérieure concentrique à ce dernier, d'autres de telle sorte que le Soleil en soit un foyer de leurs trajectoires elliptiques. Le corps emporté par l'orbe concentrique animé d'un mouvement circulaire uniforme suit la loi des aires. Un corps compris sur une ellipse se meut plus lentement au niveau de l'aphélie et plus vite au périhélie, or c'est le contraire qui doit arriver en le supposant transporté par un fluide : il doit se mouvoir plus rapidement dans l'espace le plus étroit qui correspond à la zone comprise entre l'aphélie d'une ellipse et l'orbe concentrique au Soleil, C'est une des raisons qui fait que « les planettes ne sont point transportées par des tourbillons de matiere ». Face à cette difficulté, Fontenelle répond que l'objection « cesseroit » si les globules « pouvoient diminuer de volume » car « ils passeroient alors en plus grand nombre sans prendre une plus grande vitesse » ce que justement les petits tourbillons permettraient. Fontenelle, *Sur les Tourbillons Célestes*, HARS 1729 (1731), p. 88-89.
- 2 Molières [1739], Leçon XVI, Proposition XV, p. 107-109. Les vitesses sont en proportion inverse des distances d'un point du fluide au centre de révolution.
- 3 Sur cette incompatibilité dans le système des tourbillons, voir Newton, *Principes*, TMC, Scholie général, p. 174 : « L'hypothèse des tourbillons est sujette à beaucoup de difficultés. Car afin que chaque planète puisse décrire autour du Soleil des aires proportionnelles au temps, il faudroit que les temps périodiques des parties de leurs tourbillons fussent en raison doublée de leurs distances au Soleil. Afin que les temps périodiques des planètes soient en raison sesquiplée de leurs distances au Soleil, il faudroit que les temps périodiques des parties de leurs tourbillons fussent en raison sesquiplée de leurs distances à l'axe ». Dans le premier cas, le respect de la loi des aires revient à dire que les vitesses de circulation des parties des tourbillons sont inversement proportionnelles aux distances de ces parties au centre de révolution ; dans l'autre cas, le respect de la troisième loi de Kepler implique des vitesses en proportion inverse des racines de ces distances. Autrement dit, les lois de Kepler sont incompatibles entre elles dans l'hypothèse d'un tourbillon de fluide. On retrouve une telle critique chez Maupertuis, *Discours sur les différentes figures des astres*, dans *Œuvres*, t. I, p. 110 : « de quelque cause que vienne le mouvement du tourbillon [céleste entraînant les planètes], on pourra bien accorder les vitesses des couches avec une des loix [...] mais jamais avec l'une & l'autre en même temps ». Sur cette critique, voir notamment Brunet, *L'introduction des théories de Newton*.
- 4 Molières, *Les Loix Astronomiques des vitesses des Planetes dans leurs Orbes expliquées mécaniquement dans le Système du Plein*, MARS 1733 (1735), p. 305-306.

phénomène ; de sorte qu'il n'arrivera de là rien autre chose, sinon que les forces mécaniques du Tourbillon nous fourniront avec plus de précision les loix astronomiques telles qu'elles sont en effet, que ne peuvent faire les forces purement métaphysiques de M. Newton, qui les donnent dans une trop grande précision géométrique (*ibid.*, p. 311).

Le savant n'établit donc pas à proprement parler les lois de Kepler pour des « ovales ». Il s'appuie, d'une part, sur ses démonstrations pour les tourbillons sphériques et, d'autre part, établit mécaniquement la possibilité de trajectoires elliptiques en respect avec la loi des aires et régies par des forces centrales en proportion inverse des carrés des distances. Une fois cette possibilité fondée, il en appelle aux démonstrations de Newton pour lever l'incompatibilité des deux lois de Kepler dans le système des tourbillons.

Launay suit le même type d'analyse : les règles de Kepler « peuvent être observées dans le tourbillon inégalement comprimé, ce qui peut se démontrer par les calculs de M. Newton »¹. En effet, ce dernier établit que dans un milieu non résistant, un mobile soumis à une force centrale en proportion inverse du carré des distances décrit une ellipse dont le foyer occupe le centre de force. Or, une planète dans l'éther « se meut dans un espace qui ne lui résiste point » ; elle tend vers un foyer avec une force suivant « à peu près » cette proportion « parce que dans un tourbillon peu elliptique [...] il s'en faut peu que cette règle ne s'observe » ; enfin,

cette force centripète ne servant qu'à détruire incessamment l'effort de la force centrifuge que le mobile acquiert par sa circulation, & à l'obliger à décrire une courbe, la résistance des tourbillons environnans, qui est très-capable de produire ce même effet, peut-être substituée à cette force de pesanteur (*ibid.*, p. 198-199).

Ainsi, « dans le système des Tourbillons le Soleil & les Planetes doivent s'entrepuiser mutuellement, & les Attractions que M. Newton a remarquées dans l'Univers ne sont que des effets apparens de ces veritables impulsions » (*ibid.*, p. 178).

L'introduction de tourbillons elliptiques demeure de l'ordre du qualitatif. L'observation du mouvement des astres ne s'accorde pas avec le mouvement circulaire de couches d'éther concentriques et « un tourbillon tant soit peu moins comprimé d'un certain côté, peut être pris [...] pour le principe du mouvement des Planetes »². En effet, les tourbillons célestes se « balancent » continuellement par des forces centrifuges et dans « la grande multitude de mouvemens qui se combinent en une infinité de façon » se produisent « des incidens inévitables qui changent continuellement le rapport des forces » : il s'avère alors « infiniment rare » que « les tourbillons se trouvent être également comprimés de toutes parts par les tourbillons environnans, & cela dans une exactitude mathématique »³.

Les petits tourbillons jouent un rôle essentiel en tant que par leur élasticité et leur compression due à un effort radial centrifuge ils donnent naissance à une force centripète. Par ailleurs, ils permettent une circulation elliptique compatible avec la loi des aires. Enfin, ils n'offrent pas de résistance au mouvement des corps sensibles ni frottements entre eux, ou bien des frottements ne rendant pas ce système incompatible avec les lois astronomiques comme le suggère les paragraphes qui suivent.

FROTTEMENTS INSENSIBLES ET TROISIEME LOI DE KEPLER

Lorsque Molières imagine comme expliqué ci-dessus un tourbillon rempli de corpuscules durs placé dans une « matiere homogene & sans mouvement », il note qu'au niveau du plan

1 Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 197-198.

2 Molières [1739], Leçon XV, Proposition IX, p. 67.

3 *Ibid.*, p. 70-71.

équatorial ces corpuscules qui « pressent les globules supérieurs qui sont en repos, avec une égale force centrale » leur communiqueront en même temps des quantités de mouvement égales et « les contraindront de circuler, dans le même plan de ce cercle »¹. Bien qu'il y ait ainsi un entraînement du fluide au repos malgré tout, selon Molières, les forces du tourbillon s'exercent radialement et le fluide n'a pas de « viscosité » ou, dit autrement, « la force des frottements ou de l'attrition des globules » n'existe pas². De la même manière, en remplaçant les corps durs par des petits tourbillons, si la vitesse de circulation d'une couche autour du centre d'un grand tourbillon augmente, elle « contraindra les petits tourbillons de la couche supérieure qu'[elle] touche, à circuler plus vite qu'ils ne faisoient », et ceux-ci à leur tour « hâteront la circulation des petits tourbillons de la couche suivante »³. Molières observe aussi que par leur « souplesse » les petits tourbillons « cedent au moindre effort » et « qu'ils prennent à chaque instant sans se détruire, la figure convenable aux divers lieux où ils se trouvent » mais que ceci « n'ôte pas entierement toute sorte de frottements » même si ces derniers n'altèrent pas le mouvement périodique des couches du fluide⁴. Il ajoute, sans cependant préciser, que « ce frottement [...] est important & nécessaire à la perfection du tourbillon »⁵, mais l'évocation des effets et du rôle joué par les frottements restent pour une large part qualitatifs.

Pour sa part, Gamaches aborde la question sous un aspect quantitatif. Il récuse l'incompatibilité dénoncée par Newton du mouvement tourbillonnaire de couches fluides avec la troisième loi de Kepler⁶. Newton, en tenant compte des frottements entre couches (le « défaut de lubricité ») suppose que « les impressions que les orbes contigues font les unes sur les autres seront [...] comme leurs translations réciproques, & comme les superficies contigues sur lesquelles se font ces impressions »⁷. Il établit alors que lorsque le mouvement des couches d'un « fluide homogène & infini » est provoqué par la « seule impulsion » due à la rotation d'« une sphere solide [qui] tourne d'un mouvement uniforme » les périodes de révolution des « orbes » sont proportionnelles au carré de leurs rayons⁸ ; il s'avère donc impossible « d'expliquer les phénomènes célestes par les tourbillons », autrement dit que les planètes soient emportées par une telle matière fluide⁹. Gamaches entend réfuter cette démonstration à l'aide des petits tourbillons et en « accommodant le calcul des frottements à celui qui se tire des principes que fournissent les premiers Memoires de l'Académie »¹⁰. En l'occurrence, il s'appuie sur les lois expérimentales pour les frottements solides établies par Guillaume Amontons, membre de l'Académie royale des sciences, lois selon lesquelles les frottements de deux surfaces en contact ne dépendent que de la pression exercée sur elles et

1 Molières [1734], Leçon II, Proposition VIII p. 130.

2 *Ibid.*, Proposition IV, p. 99 et p. 106.

3 Molières [1734], Leçon III, Proposition XI, p. 197-198.

4 *Ibid.*, Proposition XIV, p. 205-206.

5 *Ibid.* Peut-être cette importance est-elle liée à la circulation des petits tourbillons dans les tourbillons célestes elliptiques ; nous avons vu qu'un corpuscule peut perdre de la matière qu'il cède aux petits tourbillons contigus et ce par la « résistance » que ces derniers lui opposent. Par ailleurs, nous verrons au chapitre suivant que dans ces circulations les petits tourbillons perdent de la matière qui s'associe pour former les corps sensibles.

6 Gamaches résume et réécrit algébriquement la démonstration de Newton dans son *Astronomie Physique*, p. 179-182.

7 Newton, *Principes*, TMC, II, Prop. LII, p. 416. Cette hypothèse stipule que « la résistance qui vient du défaut de lubricité des parties d'une fluide doit être, toutes choses égales, proportionnelle à la vitesse avec laquelle les parties de ce fluide peuvent être séparées les unes des autres », cette vitesse correspondant à ce qu'il nomme dans la citation ci-dessus « translations réciproques » *ibid.*, p. 413.

8 Par cette rotation, « les parties intérieures du tourbillon [...] pressent & frottent les extérieures, [et] par cette action elles leur communiquent perpétuellement du mouvement, & [...] ces parties extérieures communiquent aussi en même temps la même quantité de mouvement à d'autres parties qui leur sont extérieures », *ibid.*, p. 416 et p. 418-419.

9 *Ibid.*, p. 423-424. La Proposition LI montre que si un solide cylindrique « infini long » en rotation uniforme autour de son axe de révolution est placé dans un fluide dont les couches sont animées d'un mouvement de révolution par cette « seule impulsion », et si ce mouvement du fluide « continue uniformément » alors « les temps périodiques des parties du fluide seront comme leurs distances à l'axe de rotation », *ibid.*, p. 413-415.

10 Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 182.

non de leurs superficies¹. En reprenant des propos de Fontenelle, lequel résume le « raisonnement Phisique » de l'académicien Philippe de La Hire qui interprète les résultats d'Amontons en examinant la nature physique des surfaces², Gamaches observe que la résistance éprouvée par deux corps qui se frottent provient des parties hérissées à leurs surfaces : si elles sont flexibles, elles doivent se plier et se coucher, si elles sont dures, les corps doivent se désengager. Dans le premier cas, seule l'action de la pesanteur d'un corps sur l'autre rend compte des frottements. Le second cas donne lieu à deux possibilités : si les parties dures ne peuvent pas se briser, il faut élever une surface pour la désengager de l'autre, et seul le poids s'oppose à cette action sans qu'il faille prendre en compte l'étendue des corps ; si les parties dures peuvent s'user, « leur nombre fait la difficulté » et « les frottemens suivront la proportion des surfaces »³. Le calcul de Newton tenant compte des superficies ne vaudrait donc que sous cette dernière hypothèse. Or,

quand une couche spherique glisse sur une autre, le cas est différent, rien ne se brise, les petits tourbillons de la matiere étherée restent dans leur entier, ils ne font que s'engrener & se désengrener successivement comme feroient les globules [durs du second élément] de M. Descartes⁴.

Gamaches cherche donc à établir la période de révolution des couches fluides, comme dans sa Proposition LII mais, pour sa part, sans tenir compte des surfaces de frottements. Il imagine les « particules » de la surface *hi* (Fig. 17) du corps *A* « engrenées » dans celles de *fg* du corps immobile *Z* et qu'une force agisse horizontalement sur *A* pour le mouvoir d'une vitesse *AC* (*ibid.*) ; il faut que *A* s'élève pour se « désengrener ».

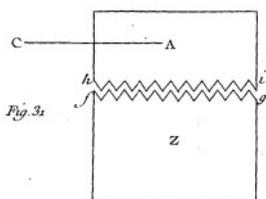


Fig. 17 : Gamaches, *Astronomie physique* (1740), Pl. 3, fig. 31

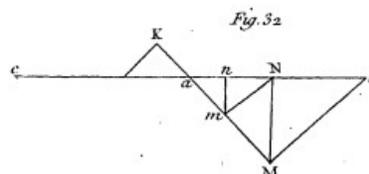


Fig. 18 : Gamaches, *Astronomie physique* (1740), Pl. 3, fig. 32

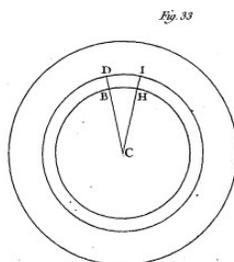


Fig. 19 : Gamaches, *Astronomie Physique* (1740), Pl. 3, fig. 33

Dans un premier temps, Gamaches ne prend pas en compte la pesanteur de *A* et réduit ce corps au corpuscule *a* (Fig. 18) tiré avec la force *ca* ou poussé par *ba = ca*, *aK* représentant

- 1 Guillaume Amontons, *De la résistance causée dans les Machines, tant par les frottemens des parties qui les composent, que par la roideur des cordes qu'on y employe, & la manière de calculer l'un & l'autre*, MARS 1699 (1732), p. 206-222.
- 2 Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 182-183 écrit que « M. Amontons a fait voir par des expériences réitérées, que la résistance qu'éprouvent deux corps qui frottent l'un contre l'autre, répond, non à l'étendue de leurs surfaces, mais au poids du plus foible ; ce que justifient les expériences de cet Académicien, est encore appuyé par un raisonnement démonstratif que l'illustre M. de Fontenelle nous donne comme de la part de M. de la Hire ». Voir Fontenelle, *Sur les Frottemens des Machines*, HARS 1699 (1732), p. 104-109. Sur cette quantification des frottements chez Amontons et l'interprétation physique du phénomène chez La Hire, voir Sérís, *Machine et communication*, p. 198-210.
- 3 Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 182-184. Pour cette citation extraite du texte de Fontenelle, voir *Sur les Frottemens des Machines*, p. 104-105.
- 4 Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 183.

une des éminences que a doit surmonter. En décomposant ba en bM (perpendiculaire à aK) et Ma (parallèle à aK), a acquiert seulement le mouvement Ma (bM s'oppose à la direction aK) lui-même décomposable en Na (parallèle à bc) et MN (perpendiculaire à bc), cette dernière composante représentant la vitesse avec laquelle a « s'élèvera au-dessus du Plan bc ». Dans l'hypothèse d'un mouvement initial Na , avec un raisonnement semblable, « mn marquerait la vitesse qu'acquerrait le corpuscule pour s'élever au-dessus du plan bc ». Dans ces conditions, « les vitesses avec lesquelles ce corps s'élèverait sans cesse dans la supposition qu'il perdit sa pesanteur, seraient toujours entr'elles comme les vitesses horizontales » (*ibid.*, p. 184-185). En effet, les triangles semblables de la Fig. 8 conduisent à $\frac{mn}{MN} = \frac{ma}{Ma}$ et $\frac{ma}{Ma} = \frac{Na}{ba}$, ce dernier rapport correspondant à celui des « vitesses horizontales ». En tenant maintenant compte du poids, la « force » (la vitesse) que possède A pour s'élever s'affaiblit et s'anéantit, le corps se hissant pendant un certain temps à une hauteur (celle d'une éminence) de laquelle il retombe ensuite dans la même durée (*ibid.*, p. 185)¹. Ce mouvement suit la loi galiléenne de chute libre (ici, sur un plan incliné) et, ainsi, cette durée t est proportionnelle à MN la vitesse d'élévation tel que l'affirme cette loi – et donc à la « vitesse translatrice » ba qui lui est proportionnelle d'après le raisonnement précédent – et inversement proportionnelle à la « pesanteur » (l'accélération) p ; ainsi, $t \propto \frac{ba}{p}$ ². Par ailleurs, « dans un tems déterminé », la « quantité de fois qu'un corps retombera & se rengrenera [...] sera en raison renversé du tems des chûtes, donc dans les frottemens cette quantité suivra toujours la proportion des chûtes initiales [l'accélération] divisées par les vitesses respectives des deux surfaces » (*ibid.*, p. 185-186), à savoir ba . Le « tems déterminé » correspond à une durée fixe égale à un nombre d'ascensions (ou de chutes) K multiplié par le temps d'une ascension (ou chute) proportionnel à $\frac{ba}{p}$ et, ainsi $K = \frac{p}{ba}$ (1).

Ces préliminaires posés, Gamaches considère deux « tranches [...] infiniment proches l'une de l'autre » BH et DI (Fig. 19) d'un tourbillon sphérique de centre C : la vitesse du mouvement circulaire sur la couche où se situe B excède celle à laquelle appartient D et BCH presse la tranche DI : « l'impression du frottement sera proportionnel, 1°. à l'excès de la vitesse de la tranche BH , sur la vitesse de la tranche DI ; 2°. au poids de la Piramide BCH ; 3°. à la quantité successive des engrenemens ; 4°. à l'action du levier » (*ibid.*, p. 186). Avec f cette « impression du frottement », u la vitesse relative, p le poids, « r la longueur du levier CB », « K la quantité successive des engrenemens », $f \propto uprK$. Or, p est égal au produit d'une masse par « sa chute initiale ou par la force centrifuge du point B », soit $p = m \frac{V^2}{r}$ avec V la vitesse de B et avec $m \propto r^3$ ³, il vient $p \propto r^2V^2$ (2). Par ailleurs, puisque d'après (1) K « sera comme les chûtes initiales divisées par les vitesses respectives », il vient $K = \frac{p}{u} = \frac{V^2}{ur}$ (3) car l'accélération (les « chûtes initiales ») provient de la force centrifuge ($\frac{V^2}{r}$). Ainsi (2) et (3) placées dans $f \propto uprK$ conduisent à $f \propto r^2V^4$, et comme « par la supposition, l'impression des frottemens sera par-tout la même », $V \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$ (*ibid.*, p. 186-187)⁴. En joignant cette dernière expression de V à $T = \frac{2\pi}{V}$ la période de révolution, il vient $T \propto r^{\frac{3}{2}}$ « conformément à la loi de Kepler » (*ibid.*, p. 187).

1 *Ibid.*, p. 185.

2 La loi de chute libre peut s'écrire sous la forme $v \propto p \times t$ avec v la vitesse acquise au bout de t et p l'accélération de la pesanteur (proportionnelle au poids), ceci conduit à la proportionnalité énoncée par Gamaches avec $v \propto ba$.

3 La masse du fluide est le produit de la masse volumique prise pour constante par son volume. Ici r^3 est proportionnel au volume de la sphère et il faut supposer que Gamaches s'attache à l'analyse des frottemens sur une période entière de révolution de B et donc prend en compte le volume d'une sphère.

4 Gamaches considère ici « l'impression des frottemens », autrement dit l'intensité des forces de frottemens constante.

Le raisonnement de Gamaches s’inspire pour une large part d’un mémoire de Jean (I) Bernoulli primé par l’Académie royale des sciences de Paris en 1730¹. Bernoulli réfute la démonstration de Newton de l’incompatibilité entre les tourbillons cartésiens et la troisième loi de Kepler en dénonçant deux « erreurs », ces deux aspects figurant dans l’analyse de Gamaches : d’une part, la prise en compte de l’aire des surfaces en contact dans le calcul des frottements et, d’autre part, l’absence d’utilisation d’un bras de levier², Gamaches citant Bernoulli sur ce dernier point³. A partir d’une expression des forces de frottements développées entre couches, Bernoulli montre que pour les tourbillons cylindrique et sphérique les périodes de révolutions valent respectivement $r^{\frac{4}{3}}$ et $r^{\frac{5}{3}}$ et non r et r^2 comme le trouve Newton, avec r la distance entre le centre du soleil et une couche⁴. Par ailleurs, bien que le premier résultat s’avère en-deçà et le second au-delà de la valeur prescrite par la loi de Kepler, Bernoulli observe que « chacune de nos deux proportions approche bien plus de l’exactitude de cette règle » que celles trouvées par Newton et il en tire alors une « conjecture en faveur des tourbillons Cartésiens » : « on pourroit dire que puisque la figure cylindrique du Soleil [qui entraîne par sa rotation des couches de fluides] donne un peu trop peu, & la figure sphérique un peu trop, il y a peut-être, une figure à donner au Soleil entre le cylindrique & la Sphère, qui produiroit au juste ce qu’il faut »⁵.

La démonstration de Gamaches garde cependant toute son originalité en s’attachant au phénomène physique du frottement à l’échelle des petits tourbillons, absents du texte de Bernoulli. Ceux-ci permettent alors d’évacuer la possibilité d’une usure au niveau des zones des corps en contacts et, ainsi, en s’appuyant sur des acquis expérimentaux, de modéliser les frottements sans recourir aux surfaces de contacts mais uniquement à la pression d’une masse exercée par l’action d’une force centrifuge. Il faut toutefois souligner que, d’une part, il n’y a pas unanimité dans la communauté scientifique concernant les paramètres à prendre en compte pour modéliser la loi des frottements solides et que, d’autre part, les expériences d’Amontons concernent les frottements statiques et non dynamiques⁶. D’après les Fig. 17 et 18 présentant des emboîtements de surfaces rugueuses, et comme le suggère la référence aux travaux d’Amontons, Gamaches modélise les frottements de couches par les lois établies pour des solides. Or, pour des frottements de couches fluides, l’aire des couches contiguës doit être prise en compte⁷. Manifestement, ces raisonnements s’inscrivent dans cette même logique

1 Jean (I) Bernoulli, *Nouvelles pensées sur le Système de Descartes, & sur la manière d’en déduire les Orbites & les Aphélie des Planètes*, dans *Recueil des Pièces qui ont remporté le prix de l’Académie Royale*, t. II.

2 *Ibid.*, p. 13-14 pour chacun de ces deux points. Bernoulli se réfère aussi au mémoire d’Amontons de 1699.

3 Concernant « l’action du levier », Gamaches écrit en citant Bernoulli que « c’est une attention qu’on est obligé de faire, comme l’a remarqué M. Bernoulli : “Puisqu’il est visible que la même force appliquée suivant la tangente de la circonférence d’une grande rouë, a plus d’efficacité pour la faire tourner, qu’elle n’en a lorsqu’on l’applique à la circonférence d’un rayon plus petit” ». Voir Gamaches, *Astronomie physique*, p. 186.

4 Bernoulli, *Nouvelles pensées sur le Système de Descartes*, p. 15-20 pour les trajectoires cylindriques et p. 20-23 pour les sphériques.

5 *Ibid.*, p. 23-24. Pour un examen de ce mémoire de Bernoulli, voir Brunet, *L’introduction des théories de Newton*, §§ 42-43 et Aiton, *The Vortex Theory*, p. 214-219.

6 Amontons établit sa loi de frottements à partir d’une situation de rupture d’équilibre des surfaces contiguës et ainsi la vitesse n’intervient pas ; elle entre en compte pour les frottements dits dynamiques où ces surfaces se meuvent l’une sur l’autre. Concernant les grandeurs physiques pour modéliser les lois, Jean Antoine Nollet, *Leçons de physique expérimentale*, Paris, Frères Guérin, 1743, t. I, p. 235-240 évoque la vitesse relative, la grandeur des surfaces de contact et les pressions exercées, tout en reconnaissant ne pas trouver de loi générale. On trouve des conclusions semblables chez Musschenbroek, *Essai de Physique*, t. I, p. 176-188, lequel ajoute que pour des mouvements sans trop de « rapidité » les frottements sont proportionnels aux vitesses, ce qui ne vaut plus pour des grandes vitesses. John Theophilus Desaguliers, *Cours de Physique Expérimentale*, trad. E. Pezenas, Paris, J. Rollin et C. A. Jombert, t. I, 1751, p. 191-204 évoque uniquement les pressions des surfaces entre elles et leur vitesse relative. L’article « Frottement », *Encyclopédie*, t. VII, p. 341b-345b se fait l’écho de cette diversité d’opinions.

7 Les forces de frottements ou de viscosité de couches fluides correspondent à une relation de la forme $\vec{F} = \eta S \frac{d\vec{v}}{dz}$, avec η le coefficient de viscosité dynamique lié au fluide, S la surface de contact entre deux couches, $d\vec{v}$ leur vitesse relative et dz la distance entre elles.

déjà rencontrée consistant à transposer des propositions de mécanique rationnelle valable pour les solides aux petits tourbillons. Rappelons que Launay écrit que « les [couches de petits tourbillons] inférieures se meuvent sur les supérieures, comme sur des courbes inflexibles, ou des plans inébranlables »¹ et que « les loix peuvent convenir indifferemment aux corps à ressort & sans ressort »². Les petits tourbillons constitueraient alors des surfaces quasi-dures et, comme l'écrit Gamaches, même « en supposant qu'ils dûssent s'enfoncer par leurs frottemens », ils se résistent mutuellement « à cause de leur élasticité » : il se produit alors le même effet que si on supposait qu'ils ne « s'enfoncent » pas (c'est-à-dire que la matière d'un tourbillon n'entre pas dans un autre), autrement dit ils se comportent les uns à l'égard des autres comme des engrenages et donc comme s'il s'agissait de corps durs³.

Les frottements existent donc bien dans ce fluide mais, d'une part, ils sont négligeables car ils font perdre des vitesses infiniment petites et, d'autre part, ils permettent de comprendre le processus physique d'entraînement de couches fluides tout en faisant que celles-ci respectent la troisième loi de Kepler. Ces raisonnements sont alors une réponse directe adressée à Newton qui suggère que le mouvement tourbillonnaire ne peut persister qu'en présence d'un milieu sans « tenacité, d'attrition dans ses parties, & de communication de mouvement (ce qu'on ne sauroit imaginer) »⁴. Pour les partisans des petits tourbillons, « tenacité » et « attrition » contribuent de manière infime à la perte de mouvement, et les tourbillons se « contrebalancent » par leurs forces centrifuges, sans se choquer. La démarche de Gamaches s'inscrit dans l'actualité scientifique de son temps, le savant s'appuyant sur des résultats expérimentaux récents et cautionnés par la communauté savante ; elle ne saurait donc être réduite à un aspect purement rhétorique ou bien illustrer une attitude conservatrice en réaction face aux théories de Newton. L'expérience et la mécanique rationnelle permettent de légitimer le système puisque susceptible de conduire à des lois de mécanique céleste que l'observation confirme. La recension dans le *Journal des Sçavans* de l'*Astronomie Physique* de Gamaches se montre très favorable à cette publication et le journaliste n'hésite pas à résumer et à comparer les calculs ci-dessus tels qu'ils apparaissent chez Gamaches et chez Newton sur presque dix pages, soulignant ainsi l'importance de la démonstration et des corrections apportées par Gamaches aux analyses de Newton⁵.

LE SYSTEME DU MONDE

L'EQUILIBRE DES PETITS TOURBILLONS

Ainsi, « la matiere subtile est composée d'une infinité de Tourbillons, ou de spheres très-fluides de toutes sortes de grandeurs, qui remplissent l'Univers, & se contrebalancent par leurs forces centrifuges »⁶. Chaque tourbillon se voit alors environné par « un nombre indéfini d'autres Tourbillons de toutes sortes de grandeurs » et il possède en chacun de ses points une même force centrifuge afin de se maintenir en équilibre⁷. Ce dernier apparaît comme un

1 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 104-105 et p. 105-106.

2 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 115.

3 Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 183.

4 Newton, *Traité d'optique*, p. 571-572. Newton suppose trois vases remplis respectivement de « Poix fonduë », d'huile, d'eau, et qu'il agite également pour obtenir des tourbillons et observe que les mouvements finissent toujours par s'épuiser bien qu'au bout de durées différentes : les tourbillons d'huile, d'eau « ou de quelques autre matiere plus fluide, pourroient continuer plus long temps en mouvement » mais à cause de la « tenacité », de l'« attrition », des chocs, « leur mouvement iroit sans cesse en depérisant ».

5 Voir *Journal des Sçavans*, Chaubert, Paris, 1740 (septembre 1740), p. 1576-1626 et en particulier p. 1617-1626.

6 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 36.

7 Un tourbillon peut changer de position à l'égard des autres et « celui qui en touche maintenant un autre vers son équateur, pourra bien-tôt le toucher vers son pole » : sans une même force en chacun de ses points, « comment dans toutes les situations différentes qu'il peut avoir à l'égard des Tourbillons qui le compriment dans toute sa surface, pourroit-il se

postulat. Il requiert tout à la fois un univers plein, un mouvement originel qui se conserve, et la nécessité de bornes afin que la matière puisse former des tourbillons et non se répandre sans fin, ce dernier aspect étant rendu sensible par des références expérimentales à des bassins remplis d'eaux ; un tel terme n'a d'autre fondement que métaphysique¹.

L'introduction des petits tourbillons repose sur « l'idée » de Malebranche² mais « l'inspection des effets de la nature » requiert de « pousser encore plus loin » la division de la matière que ne le fit le philosophe³. Comme remarqué, Molières imagine les « grands tourbillons [qui] se soutiennent en se balançant les uns les autres » ainsi que leurs interstices soient remplis et formés de petits tourbillons dits du « premier ordre » qui « se soutiennent, [...] se balancent entr'eux, & [...] se mettent en équilibre sans obstacle de la part de l'action mutuelle des grands tourbillons qui les contiennent »⁴ ; d'autres petits tourbillons dits du « second ordre », « remplissent & composent tous les petits tourbillons du premier ordre [...], en se soutenant mutuellement, en se balançant, en se mettant en équilibre » et « ainsi de suite »⁵. Cette idée de tourbillons emboîtés figure aussi chez Gamaches, Launay et Keranflech⁶. Les différents ordres forment des « milieux élastiques » dont « l'élasticité & les autres fonctions » leurs sont propres⁷ ; « par les seules loix de l'équilibre, tous ces differens ordres de tourbillons aiant été une fois introduits dans l'Univers, peuvent s'y conserver & tous les divers milieux qu'ils forment, s'y entretenir »⁸. Keranflech évoque « l'hétérogénéité » des différents ordres de tourbillons entre eux : « à cause de la disproportion de volume des tourbillons des divers ordres, de la disproportion de leur compression, de la disproportion de leur ressort, en un mot à cause que ceux d'un ordre ne sçauoient contrebalancer ceux d'un autre ; on ne peut concevoir aucun commerce, aucune communication, aucun jeu d'un ordre avec un autre »⁹. En supposant qu'un corps vienne « rompre » quelques tourbillons, « ceux qui sont dans les interstices de ces [tourbillons] décomposés cessent de presser, sentant un relâchement subit, s'agrandissent étonnamment tout d'un coup, jusqu'à devenir de volume à faire équilibre à la place des rompus ; & les restes de ceux-ci demeurent dans les interstices, où ils servent pareillement pour ceux qui ont pris leur place. Ainsi se fait le rétablissement, sans qu'il y ait pour cela un seul tourbillon de plus ou de moins dans le monde » ; il n'y a donc pas à craindre pour « la perpétuité des petits tourbillons une fois formés » et « tout ce qu'il en pourroit arriver seroit qu'un ordre avanceroit continuellement à la place d'un autre »¹⁰. L'équilibre garantit alors la conservation des milieux, donc des mouvements, et seule l'intervention d'un agent hétérogène à la matière subtile peut le rompre.

Ainsi, si une perturbation causant localement un déséquilibre survient dans la matière subtile également comprimée de tous côtés, « elle doit s'échapper du côté où elle trouve le moins de resistance »¹¹ car « c'est une loi invariable, qu'un corps ou un fluide pressé de tous

faire qu'il les contrebalançât tous, & qu'il conservât la figure spherique qui lui convient ?», *ibid.*, p. 37-38. Argument identique chez Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 92-93.

1 Voir Mazière, *Les loix du choc des corps à ressort parfait ou imparfait*, p. 16. Voir ci-dessus.

2 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 16. Mazière, *Les loix du choc des corps à ressort parfait ou imparfait*, p. 17. Molières [1734], Leçon V, Proposition II, p. 321. Gamaches, *Astronomie physique*, p. 152. Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 82.

3 Molières [1734], Leçon V, Proposition IV, p. 329.

4 *Ibid.*, p. 334-335.

5 *Ibid.*, p. 336-337.

6 Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 83-84. Gamaches, *Astronomie physique*, p. xxv-xxvj. Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 50-52.

7 Molières [1734], Leçon V, Proposition IV, p. 336-337. Molières note que Malebranche « a imaginé des tourbillons plus petits les uns que les autres, [mais] il les a toujours considérés les uns hors des autres, ce qui ne donne presque encore rien », voir Molières [1736], Leçon VI, Proposition X, p. 65. Il prescrit, pour sa part, de « subdiviser les petits tourbillons du P. Malebranche en tourbillons encore plus petits, & ainsi de suite », *ibid.*, p. 67.

8 Molières [1734], Leçon V, Proposition IV p. 340.

9 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 52.

10 *Ibid.*, p. 54-56.

11 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 22.

côtez, s'échappe vers celui où il est le moins pressé »¹ ; un tel énoncé correspond à la loi figurant dans l'*Eclaircissement XVI* de *De la recherche*². Cette différence de pression entraîne un mouvement de l'éther qui provoque une action sur le corps hétérogène à la matière subtile, hétérogénéité généralement responsable d'un déséquilibre au sein du milieu³. La mobilité résulte ainsi des tourbillons qui « se contrebalancent, se maintiennent dans l'équilibre » et « tendent à s'y conserver » ; ils « s'y remettent très-facilement, lorsque la cause qui les en a tirées vient à cesser », eux-mêmes causant cette cessation par le mouvement qu'ils impriment aux corps⁴. Ainsi, après avoir réinterprété les trois éléments cartésiens sous la forme de petits tourbillons, Molières note que « c'est principalement des équilibres que les parties de ces trois milieux [il s'agit de milieux formés de tourbillons d'ordres différents] gardent respectivement entr'elles, que dépendent les phénomènes les plus surprenans, & dont on n'a pas encore pu déterminer les raisons mécaniques, fautes d'avoir distinctement apperçu ces équilibres »⁵ : la nécessité de la conservation de l'équilibre dans un milieu détermine alors les « phénomènes ». Dès lors,

le monde n'est qu'un assemblage de très-grands ressorts bandés les uns contre les autres, & qui sont composés d'une infinité d'autres tres petits ressorts tous semblables, de sorte que ce n'est que de la rupture de l'équilibre, soit entre les grands, soit entre les petits ressorts, que naissent les phénomènes de la nature⁶.

« L'ESPRIT SYSTEMATIQUE »

La quatrième édition publiée en 1749 de la *Dissertation sur la glace* de Dortous de Mairan contient une Préface consistant en une défense de « l'esprit systématique » qui conduit le savant à un plaidoyer en faveur d'une physique qui s'appuie sur la matière subtile, Préface qui « a été lûe dans l'Assemblée publique de l'Académie royale des sciences, du 13 Novembre 1748 »⁷. Elle développe des prises de positions épistémologiques permettant d'identifier un ensemble des pratiques et de savants – Molières, Gamaches, Launay etc. pourraient revendiquer un tel écrit –, méthodologie scientifique que critiquera D'Alembert⁸.

1 *Ibid.*, p. 50-51. Voir Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 8 : « les corps les plus fluides, comme tous les autres, ne doivent pas aller vers le côté où ils seroient plus pressez ».

2 Voir Partie I, Chapitre I.

3 Ainsi s'explique la pesanteur chez Malebranche (voir Partie II Chapitre I). Dans son analyse du choc, Mazière note que les petits tourbillons à l'intérieur d'un corps « doivent être en équilibre avec ceux qui enveloppent ce corps, & le compriment. Ils [ceux à l'intérieur] tendent donc seulement à sortir de ce corps ; & ils n'en sortent pas en effet, si ce n'est à l'occasion de quelque choc, ou de quelque changement extérieur », voir Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 34. Ces corps hétérogènes peuvent ne pas être responsables du déséquilibre. Mairan explique la glaciation de l'eau par une moindre mobilité de l'éther au niveau de sa surface, ce qui rompt l'équilibre avec l'éther compris dans l'eau : celui-ci tend alors à en sortir en vertu de ce que Mairan nomme la « loi invariable », à savoir la mobilité d'un fluide vers le lieu de moindre pression ; puisque l'éther occupait les interstices compris entre les molécules d'eau, ces dernières se rapprochent les unes des autres jusqu'à former un corps solide. Pour cette explication et cette « loi » chez Mairan voir Partie II, Chapitre III.

4 Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 27.

5 Molières [1736], Leçon VI, Proposition X, p. 64. Si tout demeure en équilibre, rien ne se passe dans ce monde, aussi « Dieu qui a voulu qu'il y arrivât sans cesse quelque chose de nouveau, à [sic] donné à la matière entière, en la mettant en un tel mouvement, un certain branle par lequel il a évité cet équilibre général » et qui est la cause de tous les phénomènes, Molières, *Réponse de l'Auteur des Leçons de Physique à l'Auteur de la Démonstration Physico-Mathématique de la fausseté des petits tourbillons*, p. 1683-1684.

6 Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 85.

7 Mairan, *Dissertation sur la glace* (1749), Préface p. iij.

8 Nous reviendrons sur cette critique dans la Partie II, Chapitre V. Pour un examen de la Préface de Mairan, voir Ellen McNiven Hine, « Dortous de Mairan and Eighteenth Century Systems Theory », *Gesnerus*, 52, 1995, p. 54-65 ; Colette Le Lay et Frédérique Rémy, « La *Dissertation sur la glace* (1749) », et Hugues Chabot et Nicolas Breteil, « La réception épistémologique de l'œuvre scientifique de Dortous de Mairan dans l'*Encyclopédie* », ces deux articles dans la *Revue d'Histoire des Sciences*, tome 68-2, 2015, p. 359-374 et p. 375-404.

Cet « esprit » consiste, selon Mairan, en « une disposition naturelle tournée en habitude à nous faire un plan raisonné de notre objet, un tout de ce qui le compose, d'après ce qui nous en est connu, pour monter de-là par degrés à ce que nous en ignorons [...] On abuse des termes lorsqu'on l'entend autrement, & de cet esprit même, lorsqu'on s'en sert à forger des systèmes & des hypothèses sans nécessité & sans examen »¹. La seconde partie de la citation laissant entendre qu'il existe manifestement des « systèmes » et « hypothèses » meilleurs que d'autres suggère que ceux-ci occupent une place de choix dans la définition d'un tel « esprit ». Mairan identifie la méthode scientifique, le « raisonnement », à l'« esprit systématique ». Ainsi, il demande « n'abuse-t-on pas des expériences si elles ne sont conduites par la méthode, & éclairées du raisonnement ? C'est presque dire si elles ne sont accompagnées de l'esprit systématique : car tout raisonnement renferme quelque idée générale applicable au sujet, quelque principe de spéculation qui s'y rapporte, & s'il s'agit d'expériences, quelque supposition tacite de ce qu'elles doivent donner étant bien faites » (*ibid.*, p. viij). Pour ces « suppositions », si « rien n'est plus prudent & plus sage que de s'occuper des faits avant que de passer à la recherche des causes », cependant « on ne peut disconvenir en même temps qu'une conduite toute contraire ne nous ait procuré mille nouvelles vûes & d'importantes découvertes » (*ibid.*, p. x)². La vertu heuristique des « principes de spéculation », leur « utilité » pour les sciences, vient alors en légitimer l'usage : l'histoire de l'esprit humain témoigne que « les systèmes ont été de tous les temps une source féconde de découvertes, ou tout au moins d'observations & d'expériences dont on ne se seroit peut-être jamais avisé, s'ils n'en avoient fait naître l'idée » (*ibid.*, p. xv-xvj). Cette perspective historique enseigne que des « vérités de fait » reconnues maintenant par tous « n'ont [...] presque toujours commencé par n'être rien moins que certaines ou connues pour telles », étant alors « de vrais systèmes dans la signification la moins favorable, en un mot, de ces systèmes pernicieux à l'avancement de la Sciences » (*ibid.*, p. xij)³. D'autre part, « différens esprits doivent envisager la Nature par différens côtés » : « les uns s'appliquent à constater les faits & [...] les autres s'attachent à remonter vers les causes, ou à descendre des causes, mêmes inconnues & simplement supposées, jusqu'aux effets » (*ibid.*, p. xiv-xv). A l'égard de ceux critiquant une physique de nature causale, en arguant « l'insuffisance de nos lumières ; que les secrets de la Nature seront toujours impénétrables », que cette dernière « ne nous montre que des effets » et « qu'elle a étendu un voile épais sur les causes », Mairan rétorque que la division entre les connaissances accessibles et les autres, autrement dit « entre les effets & les causes qui se compliquent sans cesse », n'est pas si bien marqué qu'on ne puisse s'y méprendre et que pour condamner « à une éternelle ignorance des principes premiers [...] il faut en savoir beaucoup pour décider [...] de la portée de l'esprit humain, présent & à venir » (*ibid.*, p. vij). L'éloge de « l'esprit systématique » prépare alors le terrain à celui de la matière subtile.

Cette dernière a subi le sort réservé aux systèmes mais « les causes premières & mécaniques des effets de la Nature ne nous sont si cachées, qu'en ce qu'elles agissent par des fluides subtils & invisibles, ou par quelque fluide universel qui opère sous mille aspects différens ». Quant à savoir si les connaissances sur ce « principe actif & invisible » suffisent pour l'employer dans des recherches, Mairan répond qu'il le faut bien puisque « le sage & solide Newton » ne l'a pas jugé « téméraire » (*ibid.*, p. xvij). En effet, dans son *Traité*

1 Mairan, *Dissertation sur la glace* (1749), Préface, p. ix-x.

2 Mairan note que le « génie de l'invention veut être échauffé » et « il a souvent besoin d'une espece de verve qui l'anime & le développe ». Aussi prend-il l'exemple de Kepler qui « n'auroit jamais pensé à la fameuse Règle qui l'immortalise, si elle n'étoit venue à l'appui, si elle n'étoit sortie comme d'elle-même de son système harmonique des Cieux, tout fondé sur l'inscription des orbés planétaires aux cinq corps réguliers des Géomètres, & sur je ne sais quelles perfections pythagoriques des nombres, des figures & des consonnances », *ibid.*, p. xj.

3 Mairan prend l'exemple du « système Copernicien » qui ne « pouvoit [...] être d'abord [...] qu'un hardi paradoxe, qu'une hypothèse purement conjecturale, une simple analogie démentie par nos sens », *ibid.*

d'optique, Newton développe un « essai d'explication, [qui] porte entièrement sur l'hypothèse d'un fluide subtil, élastique & comprimant, répandu dans l'Univers » (*ibid.*, p. xix)¹. Mairan note alors que la volonté d'expliquer des phénomènes généraux par des « causes intelligibles » contraints les philosophes à de tels fluides, car « comment concevoir sans cela, que des corps qu'on voit ne se pas toucher puissent agir les uns sur les autres ? Il faut bien que quelque agent intermédiaire supplée à l'impulsion, & opère en effet l'impulsion »². Or, « dès qu'on voudra attacher une idée claire & distincte à ce fluide, on tombera nécessairement dans l'hypothèse des petits tourbillons dont le P. Malebranche a composé sa matière éthérée ». En effet, lorsque Newton donne une explication mécanique de la pesanteur son « fluide élastique » n'est pas « exempt de mécanisme » sous peine d'admettre une « élasticité essentielle » à la matière soit d'expliquer « une chose obscure par une autre chose aussi obscure » : Newton « a donc tacitement admis les petits tourbillons : car j'ose avancer que tout autre principe d'élasticité ou de ressort est inintelligible. La force primitive du ressort ne peut être qu'une force centrifuge, la force centrifuge ne peut exister que par le mouvement de la matière autour d'un centre ou d'un axe, & de ce mouvement naissent les tourbillons »³.

La première partie du discours porte sur « l'esprit systématique », la seconde sur l'affirmation que les « causes premières » sont mécaniques et consistent en l'action d'un fluide plus précisément composé de petits tourbillons. Dans ce texte Mairan n'explique pas mais plaide en faveur d'une telle thèse en convoquant un écrit de Newton. De telles causes ne sont pas de simples conjectures aiguillant le savant vers des découvertes, mais elles correspondent à l'essence même de tous les phénomènes naturels. En effet, une explication physique ne doit pas s'écarter des « idées claires de l'étenduë, de la figure & du mouvement »⁴ et une explication physique est nécessairement mécanique⁵. Un « raisonnement », selon le terme de Mairan, s'inscrit donc dans un cadre prédéfini composé de principes qui sont ceux de la philosophie mécanique où les petits tourbillons jouent le rôle des causes physiques.

LES CAUSES PHYSIQUES

Selon Molières, le point fondamental sur lequel tous les savants s'accordent « est de tâcher de ramener tous les effets aux principes des Mécaniques »⁶. Descartes conçoit l'univers comme un mécanisme perpétuel et Newton fonde ses principales propositions sur « les loix des mécaniques ». Mais ce dernier réfute le système du plein et les tourbillons de sorte que « sa Phisique n'est qu'un mécanisme [...] interrompu ». Réinstaurer « la continuité du mécanisme » passe tout d'abord par une réforme des tourbillons cartésiens, puis par l'introduction de causes mécaniques dans la science newtonienne car la physique a pour « but principal [...] de ramener autant qu'il est possible tous les effets à une même cause, & de les

1 Pour l'usage de l'éther dans les phénomènes optiques, voir Newton, *Traité d'optique*, Questions XIX p. 493 et XX p. 493-494 ; pour son recours en tant que cause de la gravitation, *ibid.*, Question XXI p. 494-495 ; sur l'élasticité de ce milieu, *ibid.*, Question XXI p. 495-497. Gamaches se réfère aussi à ces passages du *Traité d'optique*. Il distingue tout d'abord Newton de ses « Partisans outrés », celui-là ne mettant pas comme les autres « l'attraction au rang des Principes de la nature ». Voir Gamaches, *Astronomie physique*, p. 348. Puis il rapporte le contenu de la Question XXI donnant une interprétation de la gravité des astres par le biais de l'action de l'éther, en jugeant que « l'idée que cet illustre Géometre nous donne de la pesanteur est beaucoup plus supportable que celle qu'en ont la plupart de ses partisans ; par-tout ils la regardent comme l'effet propre d'une qualité attractive qu'ils jugent devoir être essentiellement attachée à tous les corps », *ibid.*, p. 351.

2 Mairan, *Dissertation sur la glace* (1749), Préface, p. xviii.

3 *Ibid.*, p. xxvj-xxvij.

4 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 111.

5 Mairan, *Eloge de M. l'abbé de Molières*, p. 197 : « la Physique, qui n'est elle-même qu'une Mécanique perpétuelle & la Géométrie du mouvement ».

6 Molières [1734], *Leçons de phisique, Remarques générales*, p. viij.

ranger, pour ainsi dire, selon l'ordre de leur génération »¹. Pour Gamaches, si « le système que Newton » propose « est un Chef-d'œuvre dans son genre » par l'« enchaînement de principes d'où semblent éclore tous les Phénomènes de la Nature », par « cette sage ordonnance qui réduit sous un même point de vue toutes les parties de son système », il a pour « défaut » de ne reposer que sur des « principes d'expériences » dont « les inductions [...] sont toujours équivoques » et « conduisent à des erreurs ». En l'occurrence, la plupart de ses disciples ont transformé en « lois primordiales » ou en « qualités occultes » les « principes cachés des faits » comme l'attraction². En somme, comme l'écrit Launay, « ce n'est pas [...] contempler la Nature en Philosophe, que de s'arrêter à la connoissance des Phénomènes ; mais il faut de plus s'efforcer de monter jusqu'à la connoissances des causes qui sont capables de produire ces effets, & rechercher avec soin les forces que la Nature y employe »³.

Seule la physique peut assigner des bornes aux principes d'expériences portés au-delà des faits, « mais M. Newton ne la consulte nulle part » car « il affecte de ne rien rapporter aux lois communes de la mécanique », or cette physique, comme Gamaches l'illustre au sujet de la mécanique céleste, répond aux « Principes que fournit la Philosophie Cartésienne, [qui] sont les seuls qu'on puisse adapter au Mécanisme Astronomique »⁴. Si le recours aux « principes d'expériences », si l'établissement d'une « chaîne » de propositions déduites les unes des autres selon « les Regles de la Méthode dont les Geometres se servent », et qui répond au modèle des *Eléments* d'Euclide⁵, et si la réduction des effets à une même cause apparaissent comme des conditions nécessaires à la définition de « l'esprit systématique », ces pratiques demeurent insuffisantes si ces causes ne reçoivent pas un fondement mécaniste.

Molières récuse une science bâtie sur les seules expériences qui conduisent au « plus dangereux de tous les systèmes : le système des sens, qui les [philosophes] entraîne à prendre infailliblement à prendre l'apparence pour la réalité »⁶. Il prend pour exemple le système de Ptolémée s'appuyant sur des observations et attribuant « un nombre prodigieux de divers mouvemens » aux astres, qu'il oppose à celui de Copernic joignant le « raisonnement [...] aux observations & expériences »⁷. Aussi, sans remettre en causes la nécessité de ces dernières, « il ne faut pas en demeurer là » mais les rapporter à un même « principe », en l'occurrence aux « Loix des Mécaniques »⁸. Molières récuse la « Phisique expérimentale » qui ne fait qu'« entasser expériences sur expériences, effets sur effets, sans se soucier d'en découvrir les causes »⁹. Il convient de s'appuyer sur la « base » du système de Descartes, à savoir que « *le froid, le chaud, les saveurs, les odeurs, le son, les couleurs, & les autres qualités sensibles, ne sont pas des propriétés de la matiere, mais de simples modifications de notre ame ; & que la matiere n'est capable que de figures & de mouvemens ; de sorte que tout ce qui s'opere en elle n'est qu'une suite des loix du choc* »¹⁰. La même dénonciation apparaît chez Keranflech, critiquant l'introduction de l'attraction et du vide comme faits expérimentaux. Ainsi, Ptolémée prend pour « réelles » parce qu'« il les voyoit » les stations et rétrogradations des

1 *Ibid.*, p. vj-x.

2 Gamaches, *Astronomie physique, Discours préliminaire*, p. iij-iiij. Ainsi, notamment, dans sa Préface aux *Principes de la philosophie naturelle*, Roger Cotes considère la gravité comme « une des propriétés primitives de tous les corps », au même titre que l'impenétrabilité et l'étendue. Voir Newton, *Principes*, TMC, Préface de M. Cotes, p. xxix-xxx. Pour une critique semblable adressée à l'encontre des « Partisans outrés » de Newton faisant de la pesanteur « une qualité attractive qu'ils jugent devoir être essentiellement attachée à tous les corps », voir Gamaches, *Astronomie physique*, p. 348-352.

3 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 2.

4 Gamaches, *Astronomie physique, Discours préliminaire*, p. i.

5 Molières [1734], *Remarques générales*, p. v.

6 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition X, p. 309.

7 *Ibid.*, p. 307-308.

8 *Ibid.*, p. 309-310. La même critique contre une science purement expérimentale non conduite par le mécanisme apparaît dans Molières [1736], Leçon VI, Proposition I, p. 1-4 ; Molières [1737], Leçon XI, Proposition I, p. 117-126.

9 Molières [1737], Leçon XI, Proposition I, p. 123-124.

10 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition X, p. 305.

planètes mais Copernic « s'est attaché à la simplicité de la Nature & du bon sens »¹. Les newtoniens ne suivent pas les explications de Ptolémée et « la raison est, qu'ils en savent une explication toute simple, qui, quoique contraire aux préjugés de l'imagination & des sens, est plus conforme aux lumières naturelles, & plus capables de gagner l'esprit » : ils doivent pour ces mêmes raisons se désabuser du vide et de l'attraction (*ibid.*, p. 90) et les substituer par les « principes réels » que sont la matière et l'impulsion (*ibid.*, p. 81-82). La dénonciation d'une physique qui aurait le défaut de n'être qu'expérimentale et dépourvue d'un système venant en unifier les acquis apparaît classique : dans ses recensions d'ouvrages de 's Gravesande et Musschenbroek dans le *Journal de Trévoux*, Louis Bertrand Castel souligne qu'ils leur manquent des « hypothèses »².

Cette critique s'accompagne d'une dénonciation d'un autre écueil : le système de Newton « n'est pas, comme M. Newton en convient, au commencement de ses principes, un système physique, mais purement géométrique »³ ; il ne devient vraiment « physique » qu'une fois ses résultats interprétés par le mécanisme. Se rencontre alors ces propos déjà tenus par Malebranche, et qui deviennent un topos, consistant à faire de Newton un mathématicien et non de physicien⁴ :

Monsieur Newton expose très-bien par la géométrie, & calcule admirablement les gravitations & les forces centrifuges des planètes, à chaque point de leurs orbites. Mais il le fait, comme Galilée calcule l'accélération & la descente des graves. Ces calculs & ces figures géométriques ne sont pas des causes. Ce sont des peintures de la difficulté, & non pas des solutions ; ce sont des expressions des phénomènes, & non pas des explications : & de même qu'il y auroit une grande simplicité à s'imaginer que Galilée auroit expliqué la pesanteur, parce qu'il en a exprimé les résultats par des lignes, & des chiffres ; de même on ne pourroit se figurer, sans une illusion grossière, que Newton auroit donné l'explication des mouvemens célestes, parce qu'il a exprimé ces mouvemens par la géométrie, & par le calcul. S'il nous avoit donné la cause physique de cette attraction si célèbre, qu'un bon Physicien doit admettre comme un phénomène à expliquer ; s'il nous avoit donné la cause physique de l'ellipticité [sic] des orbites des planètes ; si, non content de calculer les rapports des deux forces [centripète et centrifuges], leurs affoiblissements alternatifs, leurs rétablissements, ainsi du reste, il nous avoit montré l'origine physique de cette variété d'effets ; sçauroit été un Physicien. Mais il ne nous étale que ces effets mêmes : c'est un Naturaliste, & rien de plus⁵.

Ce même Keranflech estime qu'« il reviendra encore un temps où l'on demandera des idées claires », soit des explications physiques à partir du mécanisme et

à la fin, on cessera de prendre la description d'un phénomène, pour une explication ; l'exposition géométrique d'une difficulté pour une solution ; & on ne confondra plus, comme à présent, l'Histoire Naturelle & la Physique. Il est étrange qu'après le bannissement de l'appétit du centre, des *différences* essentielles [les matières originellement différentes et non issues d'une unique substance], des *formes* substantielles, & de toutes les absurdités de la philosophie d'Aristote, ont ait pu revenir à adopter l'attraction-principe, la translation de la lumière [la théorie corpusculaire de la lumière], la réflexion de

1 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 88-89.

2 Voir Borghero, *Les cartésiens face aux newtoniens*, p. 126-128. Il s'agit du tome premier de l'ouvrage de 's Gravesande, *Physices elementa mathematica, experimentis confirmata, sive introductio ad philosophiam Newtonianam*, Lugdunum Batavorum, P. Vander Aa & Balduinum J. Vander Aa, 1720 et Musschenbroek, *Essai de Physique*, Pour les *Physices elementa*, voir *Mémoires pour l'histoire des Sciences & des beaux Arts*, Trévoux, 1721 (mai 1721), p. 823-857 et en particulier p. 827-830 sur la nécessité des hypothèses et une méfiance vis-à-vis de l'« art », autrement dit, des expériences. Pour l'*Essai de Physique*, *ibid.*, 1739 (octobre 1739), p. 2112-2151, en particulier p. 2128-2130.

3 Molières [1739], *Leçons de physique*, Leçon XV, Proposition II, p. 15.

4 Pour Malebranche, Lettre à Berrand, 1707, OCM XIX, p. 771-772 : « quoique Mr Newton ne soit point physicien, son livre est tres curieux et tres utile à ceux qui ont de bons principes de physique, il est d'ailleurs excellent geometre » ; le livre en question est le *Traité d'optique* de Newton. Sur cette qualification de Newton mathématicien dans le *Journal des sçavans* de l'année 1740 lors des recensions des ouvrages de Molières et de Gamaches, voir Shank, *The Newton Wars*, p. 348-350. Pour ce jugement à propos des *Principia* de Newton de 1687 dans le *Journal des sçavans* de 1688, voir Guerlac, « Newton on Continent : The Early Reception of His Physical Thought », dans *Newton on the Continent*, p. 50-51.

5 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 74-75.

dessus le vuide [la réflexion pour Newton se produit au niveau des pores d'un corps, soit en l'absence de matière], le feu essentiel, & autres idées semblables (*ibid.*, p. 48-49).

Ces « idées », Keranflech les assimile à un « second péripatétisme » (*ibid.*, p. 48), car la seule géométrie sans mécanisme peut conduire à ce risque de supposer des « êtres métaphisiques », des « vertus abstraites »¹, telle qu'une attraction conçue comme propriété de la matière. Ce « naturalisme » revient ainsi à considérer que la matière est douée de qualités, ouvrant alors la voie au matérialisme². Par ailleurs, cette « géométrie » pose cette autre difficulté d'être trop précise au point de ne pas s'adapter à la réalité des phénomènes. Comme nous l'avons souligné, pour Molières les forces centrifuges dans les tourbillons elliptiques suivent « à peu près » la loi de gravitation newtonienne et les aires décrites « ne seront aussi qu'à peu-près proportionnelles aux temps » : or ceci semble « plus conforme » aux observations astronomiques « qui donnent ces à peu-près, & non ces précisions géométriques auxquelles on voudroit réduire les phénomènes ; de sorte qu'il n'arrivera de là rien autre chose, sinon que les forces mécaniques du Tourbillons [...] fourniront avec plus de précision les loix astronomiques telles qu'elles sont en effet, que ne peuvent faire les forces purement métaphisiques de M. Newton, qui les donnent dans une trop grande précision géométrique »³.

Ainsi, pour Molières et Launay les découvertes que peuvent faire les mathématiciens à l'aide de « suppositions géométriques »

ne sont [...] que les pierres d'attente pour la Phisique, & dont on pourra faire un bon usage lorsqu'on aura déterminé la cause mécanique qui fournira les forces métaphisiques que les Géometres ont supposées, ausquelles on pourra aisément la substituer. Après quoi tout ce qu'ils en auront déduit subsistera dans la Phisique⁴.

Keranflech va jusqu'à écrire que Newton est

un Naturaliste tel qu'il n'y en eut jamais, & tel néanmoins qu'il en falloit un pour faire avancer la Physique. Les Cartésiens ne sçavoient pas les faits. Ils donnoient des explications d'un Monde qui n'étoit pas. Mr. Newton, en les ramenant à la vraie histoire des phénomènes, leur a fait refondre leurs principes ; &, en ce sens, ils lui doivent la justesse actuelle de l'Hypothèse complete des Tourbillons⁵.

Il note alors que « Descartes a ouvert une carrière magnifique » : « quand on lui [au système de Descartes] a appliqué la géométrie, il s'est développé, il s'est étendu » et « plus il est touché & manié ; plus il devient fécond & riche »⁶.

EXPLICATIONS PHYSIQUES, HYPOTHESES, ECONOMIE ET SIMPLICITE DES PRINCIPES

1 Molières [1736], Leçon VII, Proposition III, p. 151.

2 L'entrée « Histoire » du *Le Dictionnaire de l'Académie française*, t. I, p. 878-879 précise que « HISTOIRE se dit [...] de toutes sortes de descriptions des choses naturelles, comme plantes, minéraux, &c. *L'histoire naturelle de Pline. L'histoire des animaux. L'histoire des plantes. Histoire des minéraux* ». Outre cet aspect, l'article « Naturaliste », *Encyclopédie*, t. XI, p. 39a, après avoir défini le naturaliste comme celui « qui a étudié la nature, & qui est versée dans la connoissance des choses naturelles » observe qu'« on donne encore le nom de *naturalistes* à ceux qui n'admettent point de Dieu, mais qui croient qu'il n'y a qu'une substance matérielle, revêtuë de diverses qualités qui lui sont aussi essentielles que la longueur, la largeur, la profondeur, & en conséquence desquelles tout s'exécute nécessairement dans la nature comme nous le voyons ; *naturaliste* en ce sens est synonyme à *athée, spinosiste, matérialiste, &c.* »

3 Molières, *Les Loix Astronomiques des vistesses des Planetes dans leurs Orbes*, p. 311.

4 Molières [1736], Leçon VII, Proposition III, p. 152. Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 34 : « ce seroit [...] borner les vûës de ce grand Géometre [Newton], que de vouloir attacher si singulierement ses grandes découvertes au sistème du *vuide*, qu'il ne fût jamais permis aux partisans du plein, de les transporter dans le leur. Il vaut sans doute beaucoup mieux leur donner l'étenduë qui leur convient, en les appliquant aux differens cas où elles sont applicables, que de les laisser dans une généralité Géometrique, où elles ne seroient en rien utiles au progrès de la vraye Physique. Qu'on regarde donc les ouvrages de *Newton* comme un riche fonds où chacun peut puiser, & qui peut être fort utile aux partisans du plein, si ceux-ci peuvent résoudre ses difficultés ».

5 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 75-76.

6 *Ibid.*, p. 104.

Le mécanisme ne fige pas une bonne fois pour toute une théorie : l'explication des phénomènes s'avère perfectible tout en restant dans l'horizon défini par les principes mécaniques. Il peut exister plusieurs modèles et à charge de l'expérience et de la raison de les amender ou non : le passage du système de Descartes à celui de Malebranche illustre une telle pratique. Si Molières dénonce le physicien sans systèmes, il ajoute qu'« il est [...] encore plus déraisonnable de vouloir le [physicien] contraindre à ne faire usage que de ceux qui n'ont servi qu'à débrouïller tant soit peu la Phisique, & qui doivent au contraire nécessairement se perfectionner à mesure que la Phisique monte en perfection »¹. Molières recourt à l'image de l'architecte qui, pour les fondements d'un édifice, utilise des machines dont il peut ensuite se passer tout en employant d'autres pour poursuivre ses travaux : « en Phisique les différens systèmes ont rapport aux machines dont les Architectes se servent, & dont ils ne peuvent absolument se passer, & qu'ils changent & réforment à chaque instant & à mesure que l'édifice monte en perfection »². En l'occurrence, plutôt que de rejeter en bloc la science cartésienne qui contient des erreurs, il faut la corriger et l'améliorer. Keranflech tient un propos semblable : la critique des tourbillons conduit Newton à rejeter cette science « mais il ne s'amusa point à regarder si elle pouvoit devenir meilleure : il la rejetta d'abord entièrement & se tourna d'un autre côté »³, alors qu'il faut tâcher de donner au système de Descartes « la perfection dont il est susceptible » (*ibid.*, p. 30) ; l'« hypothèse » des petits tourbillons « ne consiste proprement qu'à achever le système de Descartes » (*ibid.*, p. 48).

Les corrections apportées aux erreurs de Descartes reposent essentiellement sur un principe d'économie dont doit résulter des « suppositions simples », c'est-à-dire non composées, auxquels se conforme la nature⁴. Le « vrai esprit de système [...] porte à rendre raison des effets de la nature au rabais des suppositions »⁵, et ne pas « multiplier les principes » évite les erreurs. La critique vaut notamment pour Descartes, son explication de la dureté et de la consistance des figures attribuées aux corps par la force de repos ont ce défaut d'introduire des « suppositions nouvelles » dans le mécanisme⁶. La force de repos et la réflexion des corps « sans aucune cause phisique & mécanique » illustre cette « multiplicité de ses [Descartes] suppositions » qui peuvent conduire à des erreurs⁷. Aussi, le rejet de cette force source, selon Malebranche, de tous les maux de la physique cartésienne, participe de cette économie. Par ailleurs, la « subdivision » des grands tourbillons en petits ne signifie pas « multiplier les hypothèses » mais seulement « développer la même idée », à savoir le mécanisme de Descartes⁸. Quant au choix d'explications basées sur l'impulsion ou l'attraction, Keranflech écrit que « la seule expérience peut nous instruire du parti qu'il [Dieu] a pris »⁹. Celle-ci atteste que l'impulsion et la matière existent comme deux « principes réels », idée défendue

1 Molières [1737], Leçon XI, Proposition I, p. 126.

2 *Ibid.*, p. 125.

3 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 4.

4 Molières [1734], Leçon I, Proposition I, « Maxime fondamentale » p. 3 : « il ne faut pas multiplier les Principes sans nécessité. Il faut déduire les effets de la Nature des suppositions les plus simples ».

5 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition X, p. 312.

6 Molières [1736], Leçon VI, Proposition IV, p. 25-26.

7 Molières [1734], Leçon V, Proposition II, p. 322. Par ailleurs, par l'usage de cette économie de principe, Molières refuse aux « Neutoniens » l'accusation que son système soit fondé sur des hypothèses. En effet, il note que « de tous les Phénomènes, celui qui est sans contredit le plus généralement connu, & que personne ne conteste, est l'effet de l'impulsion ou du choc accompagné des loix les plus générales du mouvement », celles données par Newton au début de ses *Principes* et celles expliquées dans la Leçon I de Molières ; or, le contenu des quatre tomes des *Leçons de physique* ne consiste qu'à « se procurer tous les moyens d'étendre solidement l'effet de ces loix ». D'autre part, l'exclusion du vide et donc le plein ne tient pas d'une hypothèse mais plutôt d'un « rabais des suppositions, étant beaucoup plus simple de ne supposer l'Univers composé que d'un seul genre d'espace, que de le supposer composé de deux espaces totalement différens par leur nature », à savoir un espace géométrique (le vide) et la matière dont l'essence est l'étendue. Voir Molières [1739], *Conclusion générale*, p. 567-568.

8 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 49.

9 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 80.

par les cartésiens et les newtoniens, et si elles « suffisent pour l'explication de la Nature entière, il est contre toute méthode, & absolument contre toute philosophie, d'en admettre d'autres » (*ibid.*, p. 81-82) ; mouvement, matière et impulsion fournissent les principes explicatifs les plus simples et justes, et de tels propos ne sont pas sans rappeler le mode d'action de Dieu et la simplicité des voies qui le détermine à agir selon Malebranche¹. Il faut donc combiner ces « principes » et « si on n'obtient pas d'une combinaison le résultat qu'on cherche, il en faut faire une autre. Mais jusqu'à ce qu'on ait épuisé toutes les combinaisons possibles, & qu'on soit bien assuré de l'avoir fait, on ne peut, ni introduire d'autres causes, ni multiplier les principes. Ce ne seroit plus philosopher » (*ibid.*, p. 82)². Le système de Descartes ne correspond qu'à une combinaison particulière et si Newton a eu raison de le rejeter,

il falloit parcourir toutes les autres [...] Mais il n'a pas plu à Mr. Newton d'observer tant de règles. Il n'a tâché, ni de perfectionner les tourbillons de Descartes, ni de les remplacer par aucun mécanisme, aucune combinaison du même genre. Il n'a songé qu'à établir l'*attraction* & le *vuide* ; & ç'a été visiblement courir trop vite. Il a ainsi mêlé des suppositions à la simplicité des premiers faits ; il a pris des incertitudes pour fondement de sa physique : & tandis qu'il reproche aux Cartésiens de faire des suppositions, dans la combinaison de leurs principes, où il en faut faire ; il en mêle dans ses principes mêmes, & dans ses fondemens, où il ne doit point y en avoir (*ibid.*, p. 83-84).

Ainsi, « on ne peut voir qu'avec regret que le sublime Newton, cet incomparable Anatomiste des rayons lumineux, le plus Grand Homme de l'Univers pour les effets, soit le plus petit pour les causes » (*ibid.*, p. 86).

Molières note que cette simplicité explicative ici prônée « tombe [...] uniquement sur les causes qu'il ne faut pas multiplier sans nécessité » et, concernant celles-ci, « la raison nous porte [...] à n'employer [...] que les seuls principes des mécaniques »³. On ne peut ainsi former « une explication des phénomènes généraux [...] plus simple, & [...] plus conforme aux loix de la Mécanique » que celle fondée sur l'hypothèse des petits tourbillons, d'autant plus qu'un tel système « n'exige [...] rien autre chose que le mouvement circulaire, dont les loix sont très-connuës »⁴. En s'appuyant sur « les règles & les propriétés du mouvement circulaire », recourir aux petits tourbillons revient à donner « une méthode facile de développer tout l'Univers »⁵.

L'évocation de « toutes les combinaisons possibles » offertes par le mécanisme, autrement dit la multiplicité des enchaînements déductifs avec pour terme une confrontation avec l'expérience, et celle de la perfectibilité du système ne sont pas sans évoquer des passages des *Principes* de Descartes. La « science certaine » de la seconde partie de ce livre laisse place dans les troisième et quatrième parties qui concernent le « monde visible » et « la Terre » à « une hypothèse laquelle peut estre fort éloignée de la vérité », Descartes ajoutant « mais encore que cela fust, je croiray avoir beaucoup fait, si toutes les choses qui en seront déduites, sont entièrement conformes aux expériences »⁶. L'accord entre la déduction à partir des

1 Voir Partie I, Chapitre II.

2 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 82.

3 Molières [1739], Leçon XV, Proposition I, p. 5-6. Molières traite ici de la mécanique céleste et récusé dans cette science une simplicité qui ne devrait porter que sur les calculs, les lignes ou les figures : si tel était le cas, Kepler aurait eu tort de transformer les cercles concentriques et les épicycles en ellipses excentriques. Cette affirmation d'une simplicité des causes vaut cependant pour toutes les explications de physiques, car lorsque Molières énumère les « principes mécaniques », il mentionne l'identification de la matière à l'étendue, sa division par une force mouvante qui se distribue selon les lois du choc, sa conformation en grands et petits tourbillons, la conservation du mouvement originel, l'absence de résistance et de pesanteur de la matière subtile, soit autant d'éléments qui président à la formation du système et en expliquant mécaniquement tous les phénomènes. *Ibid.*, p. 6-8.

4 Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 84.

5 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 61-62.

6 Descartes, *Principes*, III, AT IX, art. 44, p. 123. Les « principes » énoncés dans la seconde partie des *Principes* – la matière est étendue, les phénomènes s'expliquent par la figure, la grandeur et le mouvement de la matière, le mouvement

principes du mécanisme et les faits expérimentaux ne garantissent pas qu'il s'agisse réellement de la voie suivie par Dieu dans sa création de phénomènes naturels. S'Il ne nous trompe pas, la seule vérité réside dans la possibilité de la relation cause-effet proposée, d'où cette mention d'une « hypothèse »¹. Or, cette relation peut cheminer par d'autres parcours et transiter par d'autres étapes intermédiaires. C'est ce que semble signifier Molières avec cette métaphore de l'architecte et cette remarque que, tout en déduisant de principes mécaniques l'explication de faits, « rien n'empêche que d'autres s'efforcent de mieux faire » si « on trouve [...] que je n'y aye pas bien réussi dans certaines rencontres »².

Cette métaphore et cette perfectibilité ne concernent pas seulement le choix d'une hypothèse qui serait meilleure qu'une autre dans la pluralité des possibles parmi les cheminements déductifs du mécanisme, mais aussi la recherche d'autres déductions en partant d'autres principes mécaniques que ceux de Descartes. En effet, raison et expérience invalident les règles du choc et le concept de force du corps au repos et, conséquemment, elle invite à repenser l'organisation déductive du système ; l'expérience acquiert alors chez Molières une dimension supplémentaire que celle que Descartes lui accorde puisqu'elle permet de rejeter notamment des lois du mécanisme énoncées comme des vérités certaines par Descartes dans la seconde partie de ses *Principes de la philosophie*. Ces « certaines rencontres » mentionnées par Molières prennent la forme de propositions aux contenus et aux enchaînements perfectibles et ce notamment *via* l'expérience. Mais il semble bien qu'une fois acquis le « mécanisme réformé » on ne puisse pas aller au-delà dans la réforme des principes de ce mécanisme. Ainsi, bien que Molières invite d'autres savants à « mieux faire », il poursuit immédiatement en écrivant être « persuadé & [...] convaincu qu'on ne pourra jamais renverser, ni par l'expérience, ni par le raisonnement, le mécanisme général dont j'ai jusqu'à présent fait usage »³. En somme, raisonnements, expériences peuvent invalider les fondements de la science de Descartes, mais ils ne peuvent ensuite que perfectionner l'enchaînement des propositions, les étapes intermédiaires entre des principes premiers intouchables et les phénomènes que leurs combinaisons permettent d'expliquer. Ce « mécanisme général » correspond à l'usage de la matière et du mouvement mais il consiste aussi en l'usage des petits tourbillons qui « achev[e] le système de Descartes ». Toute évolution du mécanisme ne peut que s'inscrire dans le cadre du « mécanisme réformé » des petits tourbillons. Keranflech écrit que « quand on sera mécontent de mes développemens particuliers, ce sera ma faute, & nullement celle de l'Hypothèse que j'applique », à savoir « l'Hypothèse complete des Tourbillons grands & petits ». Ainsi, si « les petits tourbillons nous présentent une infinité de combinaisons équivalentes » entre lesquelles il s'avère difficile de distinguer les vraies des fausses, « on peut déjà cependant compter sur plusieurs chefs », à savoir que les petits tourbillons composent les liquides, les métaux et les minéraux, qu'ils expliquent le feu, la fermentation, le tonnerre, les phénomènes électriques et magnétiques. Ces tourbillons contribuent à former une « Hypothèse complete » une fois associés aux grands, et les uns comme les autres ne sauraient être remis en cause ; Keranflech oppose alors leur réalité à celle des explications de « détail » de la physique qui seules sont susceptibles de changer⁴.

A l'« ordre » et l'« enchaînement unique qui doit nécessairement régner dans la production des effets naturels », la « construction de l'Univers » résultant « d'un ordre déterminé de principes, si bien liés qu'il devroit suffire d'en connaître un, pour découvrir tous les autres »⁵

suit certaines lois – peuvent donner lieu à plusieurs explications d'un phénomène et l'expérience permet alors de choisir entre les voies déductives. *Ibid.*, art. 4 et 46, p. 104-105 et p. 124.

1 *Ibid.*, art. 43 et 44, p. 123.

2 Molières [1737], Leçon XII, Proposition XV, p. 286.

3 *Ibid.*

4 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 126-136.

5 Molières [1734], *Remarques générales*, p. iv-v.

répond, chez Molières, la rédaction de ses *Leçons de physique* suivant le modèle des *Eléments* d'Euclide. Face à la critique selon laquelle les mécanismes que ce savant propose pour rendre raison de différentes expériences paraissent « trop arbitraire[s] », qu'ils sont « sans liaisons absolument nécessaire » avec les principes premiers de cette physique¹, il rétorque que « les effets [...] sont si souvent éloignés des principes » qu'il faut recourir à « la méthode que les Géomètres employent dans la résolution des problèmes composés » : « n'est-il pas évident que les constructions qu'ils font pour les résoudre, les lignes qu'ils tirent, les figures qu'ils forment ne sont pas tout-à-fait exemptes de cet arbitraire qu'on me reproche ; puisque d'autres Géomètres résolvent les mêmes problèmes en se servant d'autres constructions » (*ibid.*, p. 284-285). Les déductions dans ce nouveau « mécanisme réformé » ont le statut d'hypothèses ce que Molières ne nie pas. Face à d'éventuelles critiques qui ne verraient dans ses raisonnements en chimie « qu'un beau *Roman* », il répond par une comparaison dépréciative invitant à examiner les « merveilleuses histoires [...] débitées » par « les chimistes qui ont vieilli dans leurs anciennes idées » usant de leurs « pointes » et « guaines » ou bien par ceux recourant aux « attractions » et « répulsions » ; les uns comme les autres n'ont pas « puisé dans les meilleures sources », celles du nouveau mécanisme (*ibid.*, p. 282-283). Puis, face à ceux qui jugeraient qu'il a « supposé à la vûe des expériences des effets mécaniques, qui n'ont pas une liaison absolument nécessaire avec les principes » qu'il énonce dans le premier tome de ses *Leçons*, il rétorque qu'il « ne présume pas qu'il soit tout-à fait possible de traiter la Physique comme Euclide a traité la Géométrie » car « c'est un Ouvrage tout formé que nous considérons ; & les effets qui s'offrent à nos sens, sont si souvent éloignés des principes » que pour en trouver la causes il faut recourir à cette méthode des « Géomètres » évoquée ci-dessus (*ibid.*, p. 284-285).

Molières écrit ne pas « présumer » qu'il soit possible de traiter la physique comme les mathématiques, comme Régis soulignait la différence de nature entre ces deux sciences, les propriétés du « corps mathématique » se déduisant de sa nature tandis que celle du « corps physique », à cause de ses parties « insensibles » dont on n'aperçoit « ni l'ordre ni l'arrangement », requiert une dimension « pratique » consistant en l'observation des effets et une autre « spéculative » pour découvrir les causes de ces effets, domaine d'où est exclu ce qui est « démonstratif »². Aussi, l'hypothèse paraît consubstantielle à la pratique du mécanisme et la cohérence de l'ensemble déductif, et donc du système physique, paraît être un critère validant la réalité du raisonnement proposé : « il suffit donc d'exiger en Physique, comme en Mathématique, que ce que l'on suppose pour parvenir à la résolution du problème, ne renferme rien qui ne soit possible, rien qui contredise ce qu'on a supposé, rien qui ne puisse amener aux principes qu'on a posés pour fondements. Or c'est ce que je me suis efforcé de faire »³. Il en serait ainsi comme dans les *Principes de la philosophie* lorsque Descartes évoque la « certitude morale » en utilisant la métaphore du « chiffre » dont on sait l'avoir déchiffré lorsque l'interprétation d'ensemble donnée tient⁴.

1 Molières [1737], Leçon XII, Proposition XV, p. 284. Pour les critiques contre ce système voir Partie II, Chapitre V.

2 Cet exemple de Régis est tiré de Roux, « Le scepticisme et les hypothèses de la physique », *Revue de synthèse*, n°2-3, avr.-sept. 1998, p. 237, qui soutient « l'existence d'une corrélation entre philosophe mécanique et recours aux hypothèses », ou une « collusion historique entre la philosophie mécanique et le recours aux hypothèses », et que l'introduction du « vocabulaire des hypothèses » dans le champ de la physique doit notamment être analysée « en fonction de la manière de concevoir la tâche du physicien propre à la philosophie mécanique ».

3 Molières [1737], Leçon XII, Proposition XV, p. 285-286. Voir aussi Molières [1736], Leçon VI, Proposition III, p. 18 : « la règle que nous devons suivre avec le plus de soin dans nos recherches, est de ne jamais perdre de vûe le rapport immédiat de ce qui précède avec ce que nous avons à dire, afin qu'on ne puisse pas nous imputer d'introduire à chaque occasion de nouveaux systèmes. Car ce n'est pas proposer un système nouveau que de tirer une conséquence des principes qui ont été déduites des plus simples loix des Mécaniques ; C'est au contraire ce qu'on appelle démontrer, & suivre la Méthode d'Euclide ».

4 Une métaphore présente chez bon nombre d'auteurs de la seconde moitié du XVII^e siècle, voir Roux, « Le scepticisme et les hypothèses de la physique », p. 227-228.

Economie et simplicité des causes mécaniques s'avèrent ainsi garantes de la généralité des explications qui demeurent l'horizon de l'esprit de système, car « rien ne peut être plus à désirer que la détermination d'un mécanisme qui nous donne également l'intelligence des phénomènes du Ciel, & celle des effets les plus compliqués que nous observons sur la Terre »¹. Elles garantissent ainsi la validité d'une méthode consistant essentiellement à « transporter » dans un champ de la physique ce qui vaut pour un autre en passant notamment du sensible à l'insensible². Le système mécanique « réformé » repose sur les grands et petits tourbillons comme prémisses impossibles à remettre en doute. Seules les explications à partir de ces derniers peuvent être perfectibles, l'ensemble de ces explications assurant par ailleurs sa validité au système. L'interprétation des phénomènes s'appuie alors sur le mouvement de rotation des tourbillons et sur leur équilibre ; elle fait l'objet des deux chapitres qui suivent.

CONCLUSION

Le mécanisme apparaît comme une entité évolutive et non une doctrine figée suivant à la lettre des théories de Descartes. L'origine des petits tourbillons s'inscrit dans le droit fil de la critique malebranchiste des lois du mouvement de Descartes, notamment du rejet du concept de force du corps au repos qui implique de repenser les trois éléments de la physique cartésienne et, conséquemment, tout le système. Une fois le « secret des forces centrifuges » exhibé, ces dernières, associées à un équilibre global de l'univers, deviennent la clef de voûte de l'explication des phénomènes. Le nouveau système se veut un perfectionnement du mécanisme cartésien, mais aussi malebranchien, les petits tourbillons en comprenant d'autres emboîtés et ceci indéfiniment ou, pour certains auteurs (Gamaches), infiniment. Molières note que « l'inspection des effets de la nature » nécessite de développer davantage la division de la matière en petits tourbillons que Malebranche ne le fait ; les chapitres suivants, relatifs aux théories de la matière et aux explications physiques exemplifient cette nécessité. *L'Eclaircissement XVI* fait alors figure de texte fondateur du « mécanisme rénové », ce dernier ne consistant pas en une reconduction à la lettre de la pensée de Malebranche, mais en son approfondissement.

Ce système s'approprie les résultats de la science newtonienne tout en revendiquant les fonder par le biais de causes physiques – mécaniques –, les explications des phénomènes par ces dernières devant définir la véritable pratique du physicien. L'économie et la simplicité des causes fondent une unité explicative ; il ne s'agit pas d'une méthode heuristique mais bien de l'économie générale du monde dans son fonctionnement que le savant découvre rationnellement en allant du simple au composé à partir de la matière et du mouvement. Expériences et observations semblent jouer un rôle ancillaire et devoir s'intégrer à une théorie dont les principes sont gravés dans le marbre ; l'expérience doit justifier des déductions *aprioriques* et nous aurons lieu d'examiner son rôle dans les chapitres suivants. Bien que Molières évoque la souplesse et l'adaptabilité du système, il s'agit davantage d'un

-
- 1 Molières [1736], Leçon VI, Proposition IV, p. 31. Voir aussi Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 2 : « Un système de Physique est une matière immense. Il s'agit du Plan général de L'univers ; de découvrir la disposition & l'ordonnance de ses parties, la composition des différens corps, & la mécanique qui produit tous les effets que l'on y voit. Il s'agit de faire dépendre toutes ces choses d'une seule supposition, d'un seul principe ; de trouver une idée dont le développement soit l'explication de toutes la nature ».
 - 2 Ainsi, Molières écrit « transporter » à la chimie « le mécanisme que nous sommes comme forcés d'admettre dans le tourbillon solaire » et n'avoir « proposé autre chose dans la structure de ces éléments [chimiques] que ce que nos yeux voyent à découvert dans le système de Jupiter & de Saturne ». Il revendique d'autant plus ce droit que les chimistes introduisent « la mécanique des coins, des leviers » et imaginent « des pointes, des guaines », soit des suppositions incertaines alors que pour sa part il ne recourt qu'à des « mouvemens circulaires de petits corps autour d'un centre » et à « une structure par tout uniforme » : en effet, tous les « élémens se ressemblent, ils ne diffèrent entr'eux que du petit au grand [...] Toutes ces molécules ne sont en général que *des petits tourbillons composés d'autres petits tourbillons, qui ont à leur centre un globule dur & pesant* ». Voir Molières [1737], Leçon XII, Proposition IX, p. 204-205. Sur cette élaboration des éléments, voir le chapitre suivant.

perfectionnement qu'une possible remise en cause totale de ses prémices. Par ailleurs, ces dernières ne consistent pas uniquement en l'usage de la matière et du mouvement, mais aussi en celui des petits tourbillons lesquels font figure de quasi-principes dont l'existence ne saurait être remise en cause¹. Les petits tourbillons ne sont pas une « hypothèse » renvoyant à une possibilité interprétative des phénomènes mais ils composent réellement le monde². Ils s'équilibrent mutuellement et constituent le réservoir des forces de la nature ; l'examen des propriétés de l'éther le montre comme un fluide parfait sans commune mesure avec les corps sensibles. La différence de sens apporté au mot « densité » entre Molières et Newton justifie pour le premier une absence de pesanteur voire d'inertie. L'éther possède par ailleurs une résistance – propriété utilisée par Gamaches – bien qu'« insensible ».

Outre que le système des petits tourbillons se voit fondé à partir d'une analyse critique du système cartésien – rejet de la force du corps au repos, méthode défectueuse car multipliant des principes jusqu'à conduire à recourir à des êtres « métaphysique », impossibilité d'expliquer certains phénomènes particuliers avec les corpuscules durs du second élément, les corps durs et les mouvements « confus » ne permettent pas au système de conserver son mouvement –, à partir de raisonnements analogiques – identité de principes et de comportements des grands et petits tourbillons, recherche de légitimité à partir d'autres sciences qu'il s'agisse des ordres d'infiniment petits en mathématiques, des observations toujours plus fines au microscope rendant possible l'infinie petitesse des tourbillons ou bien de comparaisons avec la mécanique céleste, ces deux derniers types d'argumentation se rencontrant déjà au XVII^e siècle afin de justifier les hypothèses de la philosophie mécanique³ –, ces savants justifient aussi ce système aussi à l'aide de propositions de mécanique rationnelle admises par la communauté scientifique. Il s'agit alors notamment de valider la troisième loi de Kepler et ainsi de rejeter la critique de Newton qui souligne son incompatibilité avec les tourbillons, ou de montrer que si les mouvements des couches d'éther provoquent des frottements, ceux-ci permettent de fonder cette loi. Sur ce dernier point, Gamaches fait jouer aux petits tourbillons un rôle essentiel dans ses analyses, puisqu'ils lui permettent de choisir la loi expérimentale modélisant les frottements, le calcul conduisant à la troisième loi de Kepler venant ensuite rendre possible ce système. Comme l'observe Launay la « base » de cette élaboration mécanique du système repose sur l'usage de « la loi de composition & de décomposition du mouvement ». Plus précisément, il ajoute que « la proposition quinzième [de la Leçon I des *Leçons de Physique*] est la seule importante pour le nouveau Système », que sa légitimité « est accordée à l'Auteur des Leçons de Physique par tous les Géomètres, par M. Newton, M. de Leibnitz, M. Bernoulli, M. Varignon ; enfin toute l'Académie » et qu'elle ne peut ainsi être niée « sans nier en même temps toute la

1 Nous verrons dans les chapitres suivants cette systématique consistant à ramener de nouveaux faits expérimentaux ou à élucider des problématiques scientifiques de l'époque à l'aide de ces petits tourbillons.

2 Nous entendons ici par ce mot « hypothèse » le sens donné à l'entrée « Hypothèse », *Encyclopédie*, t. VIII, p. 417 : « c'est la supposition que l'on fait de certaines choses pour rendre raison de ce que l'on observe, quoique l'on ne soit pas en état de démontrer la vérité de ces suppositions. Lorsque la cause de certains phénomènes n'est accessible ni à l'expérience, ni à la démonstration, les Philosophes ont recours aux *hypotheses*. Les véritables causes des effets naturels & des phénomènes que nous observons, sont souvent si éloignées des principes sur lesquels nous pouvons nous appuyer, & des expériences que nous pouvons faire, qu'on est obligé de se contenter de raisons probables pour les expliquer. Les probabilités ne sont donc pas à rejeter dans les sciences ; il faut un commencement dans toutes les recherches, & ce commencement doit presque toujours être une tentative très imparfaite, & souvent sans succès [...] Les *hypotheses* doivent donc trouver place dans les sciences, puisqu'elles sont propres à faire découvrir la vérité & à nous donner de nouvelles vûes ; car une *hypothèse* étant une fois posée, on fait souvent des expériences pour s'assurer si elle est bonne. Si on trouve que ces expériences la confirment, & que non-seulement elle rende raison du phénomène, mais encore que toutes les conséquences qu'on en tire s'accordent avec les observations, la probabilité croît à un tel point, que nous ne pouvons lui refuser notre assentiment, & qu'elle équivaut à une démonstration ». En somme l'« hypothèse », bien qu'ayant le statut de supposition a une vertu heuristique, et ne doit être considérée que comme une étape, et non une fin, dans un processus de découverte. Pour cette définition et la critique des systèmes voir Partie II, Chapitre V.

3 Voir sur ce point, Roux, « Le scepticisme et les hypothèses de la physique », p. 235-245.

mécanique » et sans se « mettre à dos non-seulement les Partisans du nouveau Système ; mais de plus tous les Physiciens & Géomètres du monde »¹.

L'évocation d'autorités scientifiques a assurément une portée rhétorique, mais elle ne doit pas masquer l'effort d'asseoir le système sur l'axiomatique de la mécanique rationnelle et sur ses lois expérimentales. Le reproche adressé aux *Principes* de Newton tient à ce que ses propositions sont avant tout expérimentales, et que l'expérience n'a de pertinence que si elle est jointe aux causes premières de nature mécanique, voire si elle se justifie à l'aide des petits tourbillons ; de la même manière, des propositions mathématiques requièrent un fondement mécaniste. Expériences et mathématiques servent mais ne font pas tout. Molières revendique une continuité entre la mécanique rationnelle et le mécanisme, et il donne à ce dernier un ancrage physico-mathématique inspirant des savants tels que Gamaches, Launay, Keranflech. Une fois fondée l'existence des petits tourbillons, il s'agit alors d'expliquer les phénomènes naturels à l'aide de ceux-ci ; ces explications font l'objet des deux chapitres qui suivent.

¹ Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 48-49.

Chapitre III

THEORIES DE LA MATIERE

On a souvent dit que la nature se cache, mais l'expérience nous a appris qu'elle se manifestoit quelquefois. Pour moi je pense qu'elle s'est dévoilée dans le système général des Planetes qui n'est qu'un tourbillon développé, mieux que par-tout ailleurs ; & qu'il n'y a qu'à réduire en petit ce que nous y voyons en grand, pour pénétrer dans ses mysteres les plus profonds¹.

Si les petits tourbillons sont tous purs ; voilà l'*ether*. S'ils sont lestés de globes centraux, comme le tourbillon de Mars ; ou environnés de satellites, comme celui de saturne ; ou chargés autrement encore, comme celui du soleil, ainsi du reste ; ce sont différentes espèces de *liqueurs*. S'ils sont incrustés de points pesans, ce sont des *éléments de solides*. S'ils sont rompus, c'est de la *flamme*. Si l'équilibre manque entre eux, ils produisent la *fermentation*².

INTRODUCTION

Au cours du XVIII^e siècle, il existe de nombreux écrits relatifs à des théories de la matière et des interprétations de phénomènes chimiques basés sur l'usage de petits tourbillons de matière subtile. Ce chapitre se propose d'examiner en particulier comment sont conçus les éléments, les principes et les opérations chimiques, la cohésion des corps et le feu dans le cadre de ce nouveau mécanisme. Nous remarquerons qu'il existe différentes conceptions de la matière et plusieurs explications de ses réactions ; nous ne rencontrerons pas, à proprement parlé, une école ou des disciples de Malebranche qui formeraient un ensemble parfaitement homogène³. Malgré tout, le *corpus* sélectionné se caractérise par l'usage de petits tourbillons, par leur équilibre et par leur rupture d'équilibre pour rendre compte des processus chimiques ; ces caractéristiques, jointes à des références explicites ou d'autres plus cachées à Malebranche, suggèrent des liens entre l'auteur de *De la recherche de la vérité* et les savants ici étudiés.

Ce *corpus* est tributaire de l'essor des théories mécanistes appliquées à la chimie au tournant des XVII^e et XVIII^e siècles⁴. Nos savants s'accordent sur cette prémisse que la chimie se réduit à un mécanisme et qu'elle ne constitue pas une science particulière avec des principes irréductibles à la philosophie mécanique cartésienne : la matière est passive, et seuls son étendue, la forme des corps et le mouvement sont susceptibles d'expliquer la nature. Ces auteurs proposent un « réductionnisme » de type cartésien, et bien que les corpuscules mobilisés par chacun d'eux puissent avoir des formes propres différentes – sphériques, en pointes etc. – ou se localisent au centre ou à la périphérie des petits tourbillons, quoi qu'il en soit, les propriétés mécaniques de la matière constituent le seul horizon explicatif⁵. Même

1 Molières [1734], Leçon VI, p. 28.

2 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 41.

3 Ne serait-ce que parce que si la nature du feu et de la lumière sont explicitées par Malebranche, celles de l'eau, de l'air, des sels demeurent inconnues, et le philosophe ne s'attache pas aux réactions chimiques.

4 Rémi Franckowiak, « La chimie du XVII^e siècle : une question de principes », *Methodos. Savoirs et textes*, 8, 2008, « Chimie et mécanisme à l'âge classique », <https://methodos.revues.org/> : « le tournant du XVII^e au XVIII^e siècle dans la chimie est marqué à son entrée par l'émergence de la philosophie cartésienne réinterprétant les phénomènes chimiques, l'intérêt des cartésiens pour la chimie, le recours des chimistes eux-mêmes à des arguments de type mécaniste ». Pour un panorama de ces développements, voir Joly, *Descartes et la chimie*, en particulier p. 175-215 ; Clericuzio, *Principles and Corpuscles*, p. 163-212 ; Hélène Metzger, *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e à la fin du XVIII^e siècle*, Paris, PUF, 1923.

5 Pour le sens de ce réductionnisme, voir Clericuzio, *Principles and Corpuscles*, p. 7 : « reductionism means the practice of trying to show that certain entities (chemical qualities, etc.) may be eliminated by reducing all reference to them to some

s'ils mentionnent et s'appuient sur des travaux de Wilhelm Homberg et de Robert Boyle, pour lesquels la chimie ne saurait être assimilée au seul mécanisme, nos savants ne semblent voir dans les théories de ces derniers que le recours à des corpuscules en mouvement et ils les qualifient alors de « Chimistes Cartésiens », appellation relevant d'une identification de théories corpusculaires avec la philosophie mécanique¹.

Les références à Descartes et aux « Chimistes Cartésiens » ne signifient pas adhésion et il s'agit au contraire pour certains savants de se démarquer. Cette distance résulte directement d'un rejet de la force attribuée par Descartes au corps au repos et des lois du mouvement cartésiennes, critiques appelant à repenser les éléments, les principes chimiques et la composition des corps mixtes proposés dans les *Principes*. Ainsi, pour ces auteurs, tout se passe comme si cette force tendait à conférer aux corps une dureté et donc une forme en soi alors même que l'une et l'autre dépendent de principes mécaniques, en l'occurrence de l'action des petits tourbillons. Descartes donnerait ainsi des figures particulières à ses éléments, aux huiles, aux sels etc. car sa force de repos et la cohérence du système qu'il fonde avec celle-ci le lui autoriseraient ; cette cohérence le ferait se détourner d'une recherche de la cause mécanique réelle des figures². Par ailleurs, les corpuscules de Descartes et des « Cartésiens » s'avèreraient incompatibles avec des propriétés physiques de la matière mises en évidence expérimentalement dans la seconde moitié du XVII^e siècle notamment par Boyle.

Mais les critiques se portent aussi à l'encontre des « Newtoniens » qui auraient le tort de faire usage de forces d'attractions et de répulsions. Certes, ces « Newtoniens », à l'aide

other (more basic) entities – that is, the mechanical properties of matter : shape, size and motion » (« le réductionnisme est la pratique consistant à essayer de montrer que certaines entités (qualités chimiques, etc.) peuvent être éliminées en réduisant toute référence à ces entités au profit d'autres (plus fondamentales) – c'est-à-dire les propriétés mécaniques de la matière : forme, taille et mouvement »). Sur ce réductionnisme chez Descartes, voir Joly, « L'anti-newtonianisme dans la chimie française au début du XVIII^e siècle », p. 214-215 et *La chimie de Descartes*, p. 89-173. Sur le statut de la chimie par rapport au mécanisme chez des « cartésiens », voir Luc Peterschmitt, « The Cartesians and Chemistry : Cordemoy, Rohault, Régis », éd. Lawrence M. Principe, *Chymists and Chymistry*, Sagamore Beach, Watson Publishing International LLC, 2007, p. 193-202.

- 1 Pour Clericuzio, « A Redefinition of Boyle's Chemistry », p. 561-589 la théorie de la matière de Boyle est corpusculaire et non mécanique : « Boyle was far from ignoring the chemical properties of substances, or from allowing only mechanical ones [...] he did not rely on the mechanical properties of particles to explain chemical qualities. He rather had recourse to compounded corpuscles endowed with chemical, not only mechanical, properties, and, in some cases, to corpuscles endowed with seminal powers » (« Boyle était loin d'ignorer les propriétés chimiques des substances, ou de n'autoriser que les propriétés mécaniques [...] il ne s'appuyait pas sur les propriétés mécaniques des particules pour expliquer les qualités chimiques. Il avait plutôt recours à des corpuscules composés dotés de propriétés chimiques, pas seulement mécaniques et, dans certains cas, à des corpuscules dotés de pouvoirs séminaux »). Dans ce même article l'auteur montre la construction de l'image de Boyle au XVIII^e siècle comme un philosophe mécaniste dans le contexte de rejet par des philosophes continuentaux des forces à distance de Newton, et en particulier sous la plume de Leibniz ; voir aussi le rôle de Fontenelle sur ce point dans Joly, « Chimie et mécanisme dans la nouvelle Académie royale des sciences ». Pour cette distinction terminologique entre corpusculaire et mécanique et la théorie de la matière de Boyle, voir aussi Clericuzio, *Principles and Corpuscles*, p. 4-7, p. 103-148 ; sur le « cartésianisme incertain de Boyle », voir Joly, *Descartes et la chimie*, p. 193-203. Homberg attribue à la chimie une autonomie par rapport au mécanisme via des principes et des explications qui lui sont spécifiques, voir Franckowiak et Peterschmitt, « La chimie de Homberg : une vérité certaine dans une physique contestable », *Early Science and Medicine*, 10/1, 2005, p. 65-90. Cette appellation de « Chimistes Cartésiens » est problématique en ce sens qu'il n'y a pas à proprement parlé de chimie comme science autonome chez Descartes. Puis Boyle ne réduit pas toute la chimie à des explications mécaniques et se montre critique à l'encontre du réductionnisme et, d'autre part, la chimie mécaniste du début du XVIII^e siècle puise aussi son inspiration dans une tradition alchimique. Sur ces questions, voir Joly, « Chimie et mécanisme dans la nouvelle Académie royale des sciences » et « L'anti-newtonianisme dans la chimie française au début du XVIII^e siècle », p. 214-217. Dans ce dernier article, l'auteur remarque que « ce que l'on a appelé chimie cartésienne, et qui put apparaître par la suite comme une chimie tournée contre le newtonianisme, s'est développée principalement dans deux directions : une chimie des pointes et des pores, dont Nicolas Lémery fut le premier représentant, et une chimie des tourbillons, inspirée des travaux de Malebranche ». Sur la non adoption du programme « réductionniste » de Descartes dans la chimie française au tournant du XVII^e siècle et du XVIII^e siècle, voir Clericuzio, *Principles and Corpuscles*, p. 163-212. Pour une critique des « étiquettes » « cartésiens » et « newtoniens » dans l'historiographie de la chimie, en s'appuyant sur l'exemple de la chimie de Homberg, voir Principe, « Wilhelm Homberg et la chimie de la lumière ».
- 2 Nous avons donné quelques éléments de cette critique dans le chapitre précédent. Pour autant, nous verrons que parmi ceux qui utilisent des petits tourbillons certains attribuent aux corpuscules des formes spécifiques (pointes pour les acides etc.) qui témoignent d'un ancrage dans une pratique chimique du XVII^e siècle.

d'expériences, montrent à juste titre les limites des explications de Descartes, mais le cartésianisme « réformé » serait pour sa part capable de rendre raison de faits sans qu'il soit nécessaire de recourir à des causes estimées « obscures ».

Quel rôle joue l'expérience dans la construction de théories de la matière ? Bien qu'un auteur comme Molières propose une histoire naturelle de la formation des corps, il tend aussi à remplacer celle-ci par un compte-rendu d'expériences menées au laboratoire. En effet, les éléments de cosmogonie de ses *Leçons de physique* qui justifieraient l'origine et la diversité des corps s'avèrent peu développés en comparaison de ceux proposés par Descartes dans ses *Principes* ; ainsi, Molières ne décrit pas les processus géologiques de formation des corps contrairement à son aîné¹. L'exposé des *Leçons* concernant le troisième élément ne consiste qu'à relater la manière dont la croûte terrestre se forme², et Molières élabore aussi les corpuscules de ses principes chimiques de la même façon ; tout ceci ne tient qu'en peu de pages³. Une fois ce cadre général posé, il s'agit de donner des « descriptions » de l'air, de l'eau, de l'huile, du feu, du sel et, pour chacun d'eux, de proposer « l'explication mécanique de [leurs] principales propriétés »⁴. Ces « descriptions » sont ponctuées par ce leitmotiv : « l'expérience apprend »⁵. Plutôt que le récit de la genèse des corps, Molières donne alors les grandes lignes de cette formation et la structure générale des principes qui sont des assemblages de petits tourbillons emboîtés les uns dans les autres et qui emportent des corpuscules ; le détail de la structure de chacun des principes repose sur un dialogue entre histoire naturelle et propriétés établies par l'expérience, Molières laissant une part essentielle à cette dernière⁶. Une fois la « réforme » acquise – Descartes s'est trompé dans sa force de repos et sa conception de la matière subtile – l'expérience qui était un des instruments pour mener un tel changement ne saurait remettre en cause les fondements du « mécanisme réformé » ; elle aiguille le savant dans le raffinement qu'il apporte à l'architecture pour une large part prédéfinie de ses principes qui consistent donc en des emboîtements de tourbillons.

La distance prise dans les *Leçons* avec la forme de l'exposé de la IV^e partie des *Principes* de Descartes est naturellement accentuée dans des mémoires traitant de questions spécifiques faisant l'objet de prix proposés par diverses Académies – la nature du feu, des éclairs, la question de la calcination, la fermentation etc. Dans ces écrits, les tourbillons ont pour fonction de fournir le « mouvement » nécessaire aux explications, leur mobilité justifiant la « fluidité » des matières étudiées, la conservation des mouvements internes d'un milieu, l'intensité ou la « force » des phénomènes, ou bien ils permettent le mélange des mixtes nécessaires à l'inflammation. Nous avons donné dans le précédent chapitre les raisons pour introduire les petits tourbillons et leurs propriétés ; une fois les unes et les autres admises, ils fournissent le cadre explicatif général – ainsi, la fluidité de l'air, de l'eau, du feu requiert pour préalable celle des tourbillons – et viennent ensuite se greffer des interprétations d'expériences essentiellement par un mécanisme de déséquilibre/rupture de tourbillons.

Ce cadre théorique se doit aussi bien de réinterpréter des acquis expérimentaux anciens que d'intégrer de plus récents. Dans les ouvrages ou mémoires examinés, les mentions

1 Joly, *Descartes et la chimie*, p. 93-120 donne une analyse détaillée de l'« approche cosmogonique de la chimie » chez Descartes dans cette IV^e partie.

2 Suivant en cela un récit proche de Descartes où la matière la plus subtile constitutive d'une étoile se voit recouverte de matières plus grossières qui se lient entre elles. Voir Partie II, Chapitre I.

3 Voir Molières [1736], Leçon VI, Propositions III à V, p. 17-32 pour la formation d'une planète et des petits tourbillons chargés de corpuscules durs qui forment les corps sensibles ; seules une quinzaine de pages doivent donc évoquer la formation de la matière terrestre. Les pages 281 à 284 évoquent la construction des éléments.

4 Pour ces termes, voir Molières [1736] dès les premières pages du tome.

5 Il s'agit là du début de presque toutes les propositions relatives à la nature des « principes ».

6 Ainsi, l'eau et l'air auront des structures voisines mais l'expérience montre que leurs densités sont différentes ; pour Molières, les tourbillons d'eau portent donc davantage de corpuscules pesants que l'air. En fonction des principes étudiés, Molières joue alors sur le nombre des ordres de petits tourbillons emboîtés et le nombre et la taille des corpuscules qu'ils portent. Joly, *Descartes et la chimie*, p. 185-186 souligne déjà que dans le *Traité de physique* de Rohault « l'histoire naturelle de la formation des corps n'a plus le rôle fondateur qui était le sien dans la quatrième partie des *Principes* ».

d'expérimentateurs sont nombreuses – Lémery, Homberg, Boyle, Mariotte, Du Clos, Boerhaave, Musschenbroek, 's Gravesande, Etienne François Geoffroy, Hales, Nollet etc. Au-delà des étiquettes « Cartésiens » ou « Newtoniens » pouvant être associés à ces différents savants, les auteurs que nous étudierons s'attachent avant tout aux résultats expérimentaux de ce *corpus* et justifient ainsi leurs théories à l'aide des recherches parfois les plus contemporaines.

La première partie de ce chapitre se concentre sur l'élaboration des éléments issus directement d'une réforme du système de Descartes. Il s'agit ensuite d'évoquer les principes chimiques, de montrer comment l'expérience intervient dans l'élaboration de ceux et à partir de leurs structures d'examiner le mécanisme explicatif de réactions chimiques. Suit un examen des théories du feu visant à expliciter sa nature et des phénomènes tels que l'augmentation du poids de certaines matières calcinées. Le dernier point traite de la dureté, de la fluidité et de la mollesse des corps.

LES ELEMENTS

Le rejet des lois du mouvement de Descartes conduit à réformer son système et en particulier ses trois éléments¹. La cohérence du système de Descartes annoncerait en quelque sorte sa ruine. Selon Molières, s'appuyant sur ce principe que le mouvement se conserve « selon les loix du choc qu'il [Descartes] avoit imaginé », et s'appuyant sur cette idée que le simple repos fonde dureté et consistance de la matière, ces « faux principes l'empêcherent de voir que les figures qu'il attribuoit gratuitement aux petits corps qui entroient dans la composition des mixtes, n'étoient au fond que de pures chimères, d'effets imaginaires, qui ne pouvoient procéder d'aucune cause réellement mécanique, de la façon que les loix du mouvement nous sont à présent manifestées »². Pour Molières, parce que « Descartes qui vouloit, que la dureté & la consistance des figures des corps, ne procedât que du simple repos de leurs parties, ne se mit pas beaucoup en peine de rechercher distinctement les causes mécaniques qui pouvoient procurer aux parties de la matiere qu'il consideroit, les figures qu'il jugeoit à propos de leur attribuer, pour parvenir plus aisément à l'explication des effets qui étoient l'objet de ses recherches »³. Or, l'expérience invalide les lois cartésiennes et remet conséquemment en cause la grosseur et la figure des éléments que Descartes imagine. Puis, un bon usage de la méthode requiert de ne pas « multiplier les principes sans nécessité » et puisque selon Molières la dureté est « un effet qui procede du mouvement », ce dernier doit aussi rendre compte de la forme des éléments⁴.

« Expériences » et « observations » montrent aussi que « la division actuelle que Descartes s'est contenté d'admettre dans la matiere ne peut suffire, ni répondre à la délicatesse des effets dont nous connoissons le détail beaucoup plus distinctement qu'il n'a pû le connoître »⁵. Descartes ne distingue les corps sensibles ou troisième élément des deux autres éléments « que par la grosseur de ses parties & par l'irrégularité de leurs figures » ; selon Molières, les « nouvelles observations nous indiquent maintenant une si grande précision, & une constance si marquée dans les opérations de la nature, qu'il est comme impossible de ne pas s'appercevoir qu'elles procedent d'un ordre très-déterminé dans les causes »⁶. La matière du troisième élément n'est pas seulement comme le voudrait Descartes « un effet produit sans précaution, ou qui procede du débris des angles des premieres parties de la matiere », et il ne

1 Voir le chapitre précédent.

2 Molières [1736], Leçon VI, Proposition II, p. 12.

3 *Ibid.*, Proposition IV, p. 24-25.

4 *Ibid.*, p. 24-25. Sur cet usage de la méthode et en particulier l'argument d'une non-multiplicité des principes motivant le rejet de la force cartésienne des corps au repos, voir Partie II, Chapitre II.

5 Molières [1736], Leçon VI, Proposition I, p. 7.

6 *Ibid.*, Proposition II, p. 11.

faut pas « se contenter de ne distinguer les parties du troisième élément de celles du second, que par la grosseur & l'irrégularité de leur figures ; mais on doit plutôt les regarder comme une production exquise de l'action des parties du second & du premier élément » (*ibid.*, p. 16). Ainsi,

maintenant que l'on est persuadé que la dureté ne peut être qu'un effet du mouvement, & que le mouvement ne peut être permanent dans les parties de la matière, si elles ne se meuvent circulairement & en tourbillons ; on ne peut [...] ne pas voir que ce seroit évidemment introduire de nouveau le système des qualités occultes, contre lequel Descartes a tant combattu, que de supposer sans autre façon, pour cause d'un tel & tel effet, des figures & des mouvements dans les petites parties des mixtes dont on ne connoitroit ni l'origine, ni la cause mécanique qui les produit, & seulement parce qu'on appercevoit quelque légère convenance entre ces mouvements, ces figures & l'effet qu'on se propose d'expliquer. D'où il suit qu'on ne peut présentement supposer trop de régularité dans les figures des éléments, ou des moindres parties qui entrent dans la composition des corps sensibles, ni les faire dépendre de mouvements trop précisément déterminés, sans quoi il n'y aura jamais rien de démontré en Physique (*ibid.*, p. 12-14)¹.

Les corrections apportées à Descartes s'appuie sur les « expériences » et sur une économie des causes physiques, et Malebranche indique alors la voie à suivre, autant pour la structure des éléments que pour celles des mixtes. Selon Molières, Descartes et ses disciples inversent l'ordre des principes : au lieu d'attribuer préalablement figures et grosseurs aux parties de la matière comme ils le font, et « de chercher la cause des effets [...] dans la détermination des figures des parties de la matière qu'ils jugent propres à produire cet effet, sans se mettre en peine de déterminer les mouvements qui peuvent mettre ces figures en jeu [...] c'est plutôt à déterminer distinctement les mouvements, & les causes premières de ces mouvements, qu'ils doivent tourner leur attention puisque ce sont ces mouvements qui ont la meilleure part à la production des phénomènes »². Le mouvement circulaire va alors être l'instrument pour élaborer la matière rénovée de ce mécanisme. Comme nous le constaterons la critique à l'encontre des corpuscules ou des principes chimiques utilisés par les savants « cartésiens » repose pour une large part sur les arguments ci-dessus.

Les trois éléments de Descartes se retrouvent alors réinterprétés *via* les petits tourbillons. Ceux introduits par Malebranche forme le second élément remplissant tout l'univers et assurant la propagation de la lumière : de même « figure » et « grandeur » que les « globules durs » cartésiens, Molières estime leur conférer alors « une propriété très-convenable à la propagation de la lumière qu'ils n'avoient pas, selon les lois des Mécaniques [...] savoir [...] une élasticité très-prompte & très-vive »³. Ces tourbillons se composent eux-mêmes d'« une infinité de petites parties qui circulent autour de leurs centres, avec des vitesses inégales, & qui achevent leurs révolutions avec une promptitude qui surpasse l'imagination » : ils forment un milieu dont tous les points possèdent un « très-grand mouvement les uns à l'égard des autres, & [...] une subtilité prodigieuse par rapport aux petits tourbillons qu'ils composent ». Ainsi, ces nouveaux petits tourbillons constituent les précédents et occupent leurs interstices : ils forment le premier élément qui « constituë le feu » et diffère du précédent « tant par la petitesse des parties [...] que par la grandeur du mouvement dont il est continuellement agité ». Le troisième élément diffère des deux précédents en ce que « ses parties ne sont pas en petits tourbillons, mais en repos les unes auprès des autres », ce qui rend cette matière « lourde ou pesante & plus difficile à mettre en mouvement »⁴.

Les tourbillons introduits par Malebranche nommés « *petits tourbillons du premier ordre*, peuvent être des tourbillons composés d'autres petits tourbillons, [...] *petits tourbillons du*

1 Sur cette persistance du mouvement qui résulte de la forme en petits tourbillons de l'éther, voir le chapitre précédent.

2 Molières [1734], Leçon V, Proposition I, p. 317-318.

3 *Ibid.*, Proposition III, p. 325.

4 *Ibid.*, p. 326-328. Nous verrons dans les paragraphes qui suivent que pour Molières les corpuscules durs qui composent ce troisième élément n'ont pas de mouvement de petits tourbillons mais qu'ils sont aux centres de petits tourbillons.

second ordre », ces derniers se composant aussi de tourbillons d'un troisième ordre et ce « non pas à l'infini : mais tant qu'il sera nécessaire à la division & la subdivision actuelle de la matière pour expliquer les Phénomènes »¹. Les tourbillons du premier ordre ou « Ether ou Lumière » remplissent les grands tourbillons et les intervalles entre eux ; ceux du second ordre remplissent tout l'espace occupé par les précédents et celui vacant entre eux et leur « élasticité & les autres fonctions seront autant indépendantes de l'élasticité & des autres fonctions du premier milieu, que l'élasticité & les autres fonctions de ces derniers le sont de l'élasticité & des autres fonctions des grands tourbillons. Et ainsi de suite ». A chaque ordre correspond ainsi ses petits tourbillons ayant une élasticité et des fonctions propres qui « en se soutenant mutuellement, en se balançant, en se mettant en équilibre » forment « différens milieux élastiques », l'élasticité d'un milieu « sera d'autant plus prompte » que celle de l'autre que ses tourbillons sont plus petits². Keranflech observe que les tourbillons diffèrent « prodigieusement » par la taille (ce qu'il nomme « la grandeur des masses ») et par l'élasticité « comme à l'infini ». Pour cet auteur, si un tourbillon s'aplatit et se rétablit en une seconde, un autre d'un plus petit ordre le fait davantage de fois pendant la même durée : « il suit que les vibrations d'un ordre ne peuvent s'accorder, pour la promptitude, avec celles d'un autre, qu'un ordre mis en vibrations ne peut jouer qu'avec lui-même, & que chaque ordre par conséquent peut transmettre une impression, sans qu'aucun autre ordre la puisse sentir »³. Une telle subdivision de l'éther et l'équilibre entre tourbillons d'un même ordre se rencontre chez Launay, Gamaches et Keranflech⁴. Il faut alors « se représenter un *Tourbillon*, comme un globe de poussière exactement rond, qui tourne sur lui-même », celui-ci se dénommant « *Tourbillon simple* », et lorsque « chaque brin de poussière devient un tourbillon semblable au premier, alors ce premier s'appellera, *Tourbillon composé* »⁵. Tous les fluides et les liquides de l'univers se composent suivant cet emboîtement de tourbillons :

nous supposons ici que l'air, tous les espaces célestes, & généralement tous les liquides, consistent en *Tourbillons composés* ; & que, de même que les tourbillons de la première grandeur sont composés d'autres plus petits, qui remplissent leurs capacités, & les interstices qu'ils laissent entr'eux, de même ces petits tourbillons immédiatement subalternes ont leurs capacités & leurs interstices remplis d'un 3^e. ordre ; que ce 3^e. ordre est pareillement complété d'un 4^e., & ainsi de suite à l'infini, ou, autant qu'il a plu à Dieu de pousser la division de la matière⁶.

Le troisième élément reçoit une construction plus spécifique devant rendre compte des propriétés des corps sensibles et, en l'occurrence, il se doit d'être pesant contrairement aux autres éléments. Pour « découvrir les effets qu'elle [la matière du troisième élément] peut produire », il faut avant tout déterminer « la division de cette matière », son « origine » et la manière dont elle peut « subsister constamment » : Molières entend pour cette recherche « tirer [les] conséquence[s] des principes qui ont déjà été déduits des plus simples loix des Mécaniques »⁷. Ces « principes » et « loix » expliquent de manière identique la formation des astres au sein des grands tourbillons que celle des corpuscules durs au sein des petits tourbillons, corpuscules composant ce troisième élément pesant. La genèse des planètes, comme celle des globules, suit pour une large part le récit cosmogonique de Descartes. Ainsi, dans sa révolution autour d'un foyer, un petit tourbillon qui s'éloigne du centre passe d'un endroit où il rencontre plus de résistance à un autre lui en opposant moins : il s'agrandit alors

1 *Ibid.*, Proposition IV, p. 330.

2 *Ibid.*, p. 334-337.

3 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 12-15.

4 Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 83-84 et p. 138-143. Gamaches, *Astronomie physique*, p. xxv-xxvj. Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 50-52.

5 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 11.

6 *Ibid.*, p. 12.

7 Molières [1736], Leçon VI, Proposition III, p. 17-18.

au dépend de ses voisins en se chargeant d'une « quantité de matière » qu'il restitue lors de son retour à son point de départ¹. Ces transferts de matière sont d'importances dans le système, en tant qu'ils contribuent à la formation des planètes, des atmosphères, des corps solides, à l'entretien du Soleil :

dans toutes les moindres parties sensibles de l'étendue d'un grand Tourbillon, il se fera un sassement & ressassement continuel des moindres parties de la matière qui le compose, lesquels passeront & repasseront sans cesse par un mouvement subit & rebroussé d'un des petits Tourbillons dans l'autre, & [...] ce mouvement pourra déterminer certaines parties de la matière engagées dans les moindres coins & recoins qui sont parmi tous ces petits Tourbillons, à se dégager des endroits où elles auront pu se former, & à se précipiter en foule de tous les points du grand Tourbillon au centre commun [...] Effet qui peut servir de principe pour rendre raison de plusieurs phénomènes généraux de la Nature, tels que sont l'entretien de la chaleur & de la lumière du Soleil, de la fécondité de la Terre, &c.²

Lors de ce « sassement perpétuel » des petits tourbillons, « il a dû arriver » que plusieurs « petites parties de matière se soient détachées » et, ne suivant alors plus que des mouvements « irréguliers », elles finissent par s'assembler et former des « molécules »³ qui n'ayant pas la forme de petits tourbillons sont pesantes⁴. En vertu de leurs pesanteurs, ces « molécules » tombent et se rassemblent au centre des grands tourbillons où, ne participant pas au mouvement circulaire global, elles y demeurent et constituent « des corps rares & spongieux » ce qu'on nomme « des taches dans le Soleil »⁵. Dans certains tourbillons, les taches composent « une croûte liée & permanente » environnant l'astre et ceci produit « une alteration dans le mouvement total du tourbillon » au point qu'un tourbillon voisin puisse l'« envelopper » et le « contraindre » à circuler autour de son propre centre le réduisant alors à « un tourbillon subalterne » portant en son centre une planète⁶.

Durant ce « dérangement universel, les mêmes accidents arrivent à la plupart des petits tourbillons » qui composent les grands. Ainsi, de « petits globes pesants » se forment aux centres des « tourbillons du premier ordre » comme aux centres de ceux des ordres inférieurs : « non seulement il s'est formé de[s] globules pesants aux centres de la plupart des petits tourbillons du premier ordre, qui composent le grand tourbillon de la planète, mais [...] il s'en est aussi formé d'incomparablement plus petits aux centres de quelques-uns des petits tourbillons du second ordre, qui composent les petits tourbillons du premier ordre, & ainsi de suite »⁷ ; par cette pesanteur, ces tourbillons pesants tendent à s'approcher du centre de la Terre⁸. Par ailleurs, les globules sont extrêmement durs : une analogie tissée entre les « parties de la Terre [...] poussées au centre de son tourbillon par le fluide environnant » et celles des globules au cœur des petits tourbillons suggère que l'effort de compression dans le premier cas « n'est que comme un infiniment petit » par rapport au second, « car ces efforts sont entr'eux en raison inverse des carrés du rayon de la Terre & du rayon du petit globe »⁹. Ceci rend alors compte de la cause de ce que Molières nomme la dureté « première », et la

1 Molières [1734], Leçon III, Proposition XVII, p. 218-220. Pour cette circulation dans des orbites elliptiques voir Partie II, Chapitre II.

2 Molières, *Probleme physico-mathématique*, p. 239-240.

3 Ce mot renvoie ici à un corpuscule dur, mais nous verrons que Molières l'utilise aussi pour signifier un ensemble composé de petits tourbillons et de corps durs caractérisant un élément, voir par exemple Molières [1736], Leçon IX, Proposition V, p. 383. Par la suite, notre usage de ce mot renverra à un de ces deux sens suivant le contexte.

4 Molières [1736], Leçon VI, Proposition III, p. 19-20. Cette pesanteur provient de l'absence du mouvement tourbillonnaire de ces parties de matière : sur la théorie de la pesanteur de Molières, voir le chapitre suivant.

5 Molières [1736], Leçon VI, Proposition III, p. 20.

6 *Ibid.*, p. 20-22.

7 *Ibid.*, Proposition IV, p. 26-27.

8 *Ibid.*, Proposition V, p. 34-35.

9 *Ibid.*, Proposition VII, p. 46-47. Cette proportion résulte de la loi de gravitation newtonienne appliquée au tourbillon terrestre et à un petit tourbillon.

combinaison entre eux de ces corpuscules durs environnés de leurs petits tourbillons devient « le principe de la dureté des corps sensibles », dite dureté « seconde »¹.

En remplaçant les corpuscules durs par des petits tourbillons (voir Partie II, Chapitre II), Molières établit que la vitesse sur la superficie de chaque petit tourbillon est égale à celle de son centre autour du grand tourbillon, que ces petits tourbillons situés à une égale distance du centre du grand tourbillon possèdent une même taille, et que plus ces tourbillons sont éloignés du centre de révolution, plus ils sont grands². Les corpuscules dans les petits tourbillons sont alors de grosseurs et de duretés variables : ces dernières dépendent « de la grandeur & du degré de force centrifuge de leurs [petits] tourbillons, & ce degré de force dépendant à son tour de la distance au centre commun [de révolution], & de la vitesse avec laquelle circulent les points qui les composent, & [...] cette vitesse ayant été d'autant moindre au moment que ces petits globes se sont formés, que les petits tourbillons qui les contiennent étoient plus distans du centre de la Terre, il est clair que leur grosseur sera d'autant plus grande, & leur dureté d'autant moindre qu'ils se seront formés plus loin de ce centre »³.

Une planète est sphérique parce que la matière subtile qui produit la pesanteur agit également dans toutes les directions sur sa surface ; pour cette même raison, un globule au centre d'un petit tourbillon possède aussi une forme sphérique. Par ailleurs, ces globules ont des pores comme les corps sensibles, et ces pores sont remplis d'autres petits tourbillons plus petits que celui dont un corpuscule est le centre et qui compriment plus ou moins ce corpuscule, ceci donnant alors différents degrés de « densité » à cette matière. Puis « ces globules ont [...] dû être d'autant plus petits, plus durs, plus denses, qu'ils ont été formés plus près du centre du grand tourbillon » puisque la matière qui compose ces globules s'avère davantage comprimée lorsqu'elle se forme vers le centre des grands tourbillons où les forces des petits tourbillons sont plus importantes⁴. Plus denses et plus pesants, les globules produits près du centre de la Terre s'en approche plus que les autres et entrent dans sa composition ; les corpuscules formés plus loin constituent l'atmosphère de la planète et notamment l'air⁵. Remplissant l'atmosphère terrestre (les corps sensibles et l'air), ces petits tourbillons composés de corps durs forment alors le troisième élément⁶.

Une description semblable de la formation de corps durs au sein de petits tourbillons basée sur une analogie avec la formation des planètes figure chez Keranflech :

pourquoi ne seroit-il pas arrivé à une infinité de petits tourbillons, ce qui est arrivé aux grands, d'avoir des masses centrales comme mercure ou vénus, d'autres masses en formes de satellites, des satellites de satellites de tous les ordres ? Pourquoi ces petits tourbillons ainsi appesantis & rabattus par la pesanteur, par exemple, vers la terre, ne s'y combineroient-ils pas diversement les uns avec les autres, & en diverses quantités, pour composer différentes sortes de corps ? Pourquoi ne pas suivre une analogie qui marche d'elle-même, avec laquelle on explique sans aucun embarras & même sans aucune exception, tant en détail qu'en général, tout ce qu'on observe dans la Nature ?⁷

Pour sa part, Launay suppose que Dieu ne donne pas à toute la matière « la forme de tourbillon » mais laisse éparses « de petites *massules* » emportées par la révolution de l'éther autour d'un astre, mais ne possédant pas de mouvement de révolution autour d'un centre propre⁸. Leur dureté résulte alors de la force centrifuge des petits tourbillons qui les

1 *Ibid.*, p. 49-51.

2 Molières [1734], Leçon III, Propositions X, XV, XVI, p. 193-194, p. 210-214, p. 214-217. Sur la diminution des « forces centrales *particulières* » des petits tourbillons en fonction de leur éloignement au centre de révolution, voir l'explication de la pesanteur des corps dans le chapitre suivant.

3 Molières [1736], Leçon VI, Proposition VIII, p. 51-52.

4 *Ibid.*, Proposition VIII, p. 52-53.

5 *Ibid.*, Proposition IX, p. 55-57.

6 *Ibid.*, p. 53-54.

7 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 60-61.

8 Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 145-146.

compriment, et certaines s'assemblent aux centres des grands tourbillons pour former des planètes¹.

Les trois éléments forment au niveau de l'atmosphère terrestre « trois milieux differens » sans « s'exclurre », se « confondre », ni se « nuire dans aucune de leurs fonctions »². Le premier élément se compose de « très-petits tourbillons », se « balaçant mutuellement » donnant un milieu « très-élastique & très-subtil, qui remplira tout l'Univers » ; le second, constitué par les tourbillons précédents comprend alors des tourbillons plus grands, donc de moindre forces centrifuges, ce qui confère à ce milieu une « élasticité » moindre ; enfin, le troisième auquel les précédents donne naissance, est un assemblage de tourbillons plus grands et encore moins élastiques que les précédents avec des corps pesants³. Ces milieux occupent l'intégralité d'un espace donné, et « c'est principalement des équilibres que les parties de ces trois milieux gardent respectivement entr'elles, que dépendent les phénomènes les plus surprenans, & dont on n'a pas encore pû déterminer les raisons mécaniques, fautes d'avoir distinctement apperçu ces équilibres »⁴. Ainsi, si par une cause quelconque la vitesse des parties formant un tourbillon du premier élément augmente, celui-ci s'agrandit (car sa force centrifuge augmente) et l'équilibre avec ses voisins du même ordre se rompt. Un nouvel équilibre survient avec les tourbillons du second élément lorsque la taille de ce tourbillon, et donc sa force centrifuge qui diminue, égale celle de ces derniers. Ce raisonnement vaut pour les tourbillons du second élément vis-à-vis du troisième. Si des tourbillons de ce dernier s'agrandissent, ils ne peuvent être équilibré par un autre milieu et leur expansion se poursuit jusqu'à ce qu'ils se dissipent⁵. Un élément peut alors se transformer en un autre, « principe mécanique [...] d'un usage merveilleux pour expliquer les phénomènes les plus exquis de la Chimie »⁶. Reposant sur une rupture d'équilibre du système, le « principe » avancé par Molières figure dans l'*Eclaircissement XVI* de *De la recherche de la vérité* de Malebranche. Avant d'aborder le détail des explications des phénomènes chimiques, Molières s'attache à donner une interprétation mécaniste des « principes » des chimistes.

LA « CHIMIE PHISIQUE »

LES « PRINCIPES »

Molières souhaite « former une *Chimie Phisique*, qui ne contribuëra pas peu à nous donner l'intelligence des vrais principes de la nature ». Si « les opérations de la chimie [...] fournissent les moyens les plus convenables pour déterminer les principes de la nature » et, en ce sens, l'« art », les « procédés » des chimistes contribuent « au progrès de la Phisique », il faut toutefois joindre le mécanisme « aux raisonnements qu'ils ont fait sur leurs opérations », un mécanisme « plus simple & plus épuré » fondé sur « des principes plus clairs & plus intelligibles que ceux dont ils font usages »⁷. Molières suit alors la voie ouverte par les « cartésiens » tout en rejetant leurs théories. Sa « chimie physique » se fonde méthodologiquement sur une critique systématique d'une chimie de type cartésienne, sur un rejet de l'usage d'attractions et de répulsions à distance permettant d'interpréter des réactions

1 *Ibid.*, p. 147-148.

2 Molières [1736], Leçon VI, Proposition X, p. 57. « L'image sensible » du bassin rempli d'eau animée de mouvements de tourbillons justifie cette possibilité d'une coexistence de plusieurs milieux élastiques qui ne se nuisent pas, *ibid.*, p. 57-62. Sur cette « image », voir Partie II, Chapitre II.

3 Molières [1736], Leçon VI, Proposition X, p. 63.

4 *Ibid.*, p. 64.

5 *Ibid.*, Proposition XI, p. 69-71.

6 *Ibid.*, p. 71.

7 Molières [1737], Leçon X, Proposition I, p. 3-4.

et sur des données expérimentales qui lui permettent de légitimer son interprétation mécaniste des « principes ».

Molières recherche les principes chimiques à la base de toutes les opérations chimiques, avec ce souci de rendre ces principes « sensibles & palpables »¹ et de les fonder mécaniquement. Il refuse « les qualités occultes des anciens Chimistes », mais ne s'attarde pas davantage à les critiquer, comme si ce combat ne semblait plus, à ses yeux, d'actualité². Il rejette aussi les principes proposés par des chimistes qui joignent « l'esprit du mécanisme à l'observation » (*ibid.*, p. 114). En effet, pour Molières, les analyses de la matière conduisent les chimistes « de notre temps » à isoler « ce qu'on nomme *esprit, huile, sel, eau & terre* », sans pour autant qu'ils aient une idée claire du sens à apporter à ces notions : lorsqu'ils « s'éloignent des loix des Mécaniques : ou qu'ils ne veulent pas les approfondir suffisamment », ils tombent dans les « mêmes illusions » que les « autres Philosophes » (*ibid.*, p. 114-115). Ces « autres Philosophes » sont manifestement ceux qui s'inscrivent dans une doctrine des principes de type paracelsienne ; les principes ici énoncés par Molières correspondent à cette tradition. Molières refuse aussi une chimie bâtie uniquement sur des expériences sans chercher à unifier celles-ci autour des « loix mécaniques », autrement dit sans les intégrer dans un système : la « connoissance » des différents principes sans celle de leurs mouvements et des figures des particules n'est qu'une « connoissance très-confuse » (*ibid.*, p. 114-123). Mais, par ailleurs, il critique les figures des « particules » attribuées à l'eau (« amas de petits corps cilindriques »), à l'huile (« dont les parties sont de petites branches »), au sel (« assemblage de petites pointes emboîtées dans des especes de guaines ») par les chimistes mécanistes : « les Chimistes n'ont certainement ni vû, ni montré à personne ni ces cilindres souples de l'eau, ni ces branches de l'huile, ni ces pointes des sels acides, ni ces guaines des sels alkalis, ni l'artifice par lequel ils font agir ces petits corps les uns sur les autres ; & tout cela n'est gueres démonstratif » (*ibid.*, p. 117).

Le mécanisme, même sous cette dernière forme, a permis de développer la chimie et « les Phisiciens, les Chimistes même, auroient cessé depuis long-temps de faire des découvertes, & cesseroient bientôt d'en augmenter le nombre, s'ils cessoient de raisonner sur ces découvertes », ce « raisonnement » consistant à rapporter les expériences aux principes du mécanisme (*ibid.*, p. 121-122). Mais s'il importe d'« en revenir au mécanisme », il convient aussi de l'approfondir, ce qui passe par « la détermination précise du mouvement des parties des mixtes » (*ibid.*, p. 115-116). La chimie se définit comme « l'art de réduire les mixtes en leurs principes ; & de composer de nouveaux corps par le moyen de différentes matieres » ; les « principes chimiques » s'identifient alors aux « matieres les plus simples qui entrent dans la composition de ces corps »³. Avancer dans la connaissance des corps sensibles repose sur une détermination des « figures » et des « mouvemens » de leurs « particules » constitutives qui contribuent aux opérations chimiques⁴. Aussi faut-il déterminer les structures de l'éther, de l'huile, de l'air, de l'eau, de la terre, et du sel qui forment pour Molières les « six principes » composant ces mixtes, structures dans lesquelles les petits tourbillons jouent un rôle essentiel⁵.

L'éther et la terre

1 Molières [1737], Leçon XI, Proposition I, p. 114. Expression figurant notamment chez Nicolas Lémery, *Cours de Chymie*, Paris, 1675, p. 4 qui évoque la nécessité « d'en établir [des principes] sensibles » en opposition au « principe [un Esprit universel composant les mixtes] un peu Metaphysique ». Metzger, *Les doctrines chimiques en France*, expose le renversement de la chimie paracelsienne par Lémery et qualifie cette chimie de cartésienne. Pour une critique de cette appellation « chimie cartésienne », voir Principe, « Wilhelm Homberg et la chimie de la lumière ».

2 Molières [1737], Leçon XI, Proposition I, p. 118.

3 *Ibid.*, Leçon XII, Proposition IX, p. 192.

4 *Ibid.*, Leçon XI, Proposition I, p. 126-127.

5 *Ibid.*, Leçon XII, Proposition IX, p. 191.

L'éther intervient dans cette liste des principes car un « mixte » s'identifie à un « amas de petits tourbillons de tous les genres [donc d'éther], qui a reçu quelque modification particulière par le mélange des particules de la matière pesante. De sorte qu'un mixte ne diffère principalement d'un autre mixte que par la diversité de ce mélange » ; l'éther est comme « le fondement & la base de tous les mixtes ». Ainsi, « c'est l'éther & souvent l'air, qui les [mixtes] a formés, qui les conserve, qui les soutient, qui les change, qui les varie & qui en fait, pour ainsi dire, le corps & l'ame ». Molières énonce à nouveau sa conception de l'éther, milieu « composé de petits tourbillons de différents ordres, emboîtés les uns dans les autres », sans pesanteur et élastique, puis il définit ce qu'il nomme « terre » : lors de la formation de la Terre au centre de son grand tourbillon, il s'est « aussi formé aux centres d'un grand nombre de petits tourbillons de tous les ordres [...] de petits globes durs & pesants [...] ces petits tourbillons chargés de ces poids s'étoient détachés de la matière étherée & avoient formés dans l'intérieur du globe de la Terre & sur sa superficie, différents sédiments ; [...] la matière dont ces petits globes durs étoient formés étant destituée de tout mouvement circulaire, n'étoit ni fluide par elle-même, ni élastique, ni légère : mais plutôt pesante dense, & sans action qui lui fût propre ; & c'est cette matière que nous appellerons en Chimie, *Terre* ». Molières écrit alors qu'« à proprement parler, il n'y a dans la nature que deux principes l'un actif & l'autre passif ; l'Ether & la Terre »¹.

Sur ces notions d'activité et de passivité, Molières observe qu'« on a coutume dans cet art [la chimie] de regarder comme *actif* un principe qui contient en lui même un mouvement propre & distingué de celui des autres principes, qui le rend capable de dissoudre les matières exposées à son action ; Et [...] on doit regarder comme un principe passif celui dans qui ce mouvement manque, quoique capable de la recevoir d'ailleurs » ; ainsi seuls ce que les « Chimistes appellent terre & alkali » sont des « principes passifs »². Pour sa part, Molières identifie l'activité au mouvement circulaire des petits tourbillons, tout en ajoutant que « le mouvement seul ne suffit pas pour rendre un principe actif » et qu'il existe différents degrés d'activité et de passivité : un principe « sera d'autant plus actif que le mouvement propre de ses molécules sera plus prompt, & que les particules dures que ce mouvement entraîne seront plus denses, plus pesantes. Et [...] un principe sera d'autant plus passif, que la matière qui le forme sera plus dure, ou qu'elle apportera plus d'obstacle à sa division » (*ibid.*, p. 210-211). Ces principes actifs sont aussi nommés « dissolvants » et leur puissance est croissante selon la plus grande dureté, densité, pesanteur et subtilité (la finesse des particules) de leurs corpuscules et la plus grande force centrifuge (ce qui signifie un plus grand mouvement) de leurs tourbillons : ainsi le vinaigre et « les autres liqueurs acides que l'on tire des végétaux » sont des « dissolvants plus puissants que l'eau » mais moins que « les acides que l'on extrait des minéraux » (acide du nitre, acide du vitriol, acide du sel marin) du fait que ces derniers possèdent « des particules dures encore plus denses & plus pesantes » (*ibid.*, p. 211-216)³.

L'air

L'air ne se compose ni de « petites parties branchuës » nageant dans un fluide ni de « petites lames contournées en limaçon » possédant cette « vertu surprenante de se déployer comme d'elles-mêmes » afin d'expliquer sa compressibilité et dilatabilité⁴. Pour cette première conception, Molières mentionne Descartes qui évoque les « parties [de l'air] presque toutes fort molles & flexibles, ainsi que des petites plumes ou des bouts de cordes forts

1 *Ibid.*, p. 192-200.

2 *Ibid.*, Proposition X, p. 209-210.

3 Nous examinerons ci-dessous quelques opérations chimiques impliquant des « dissolvants ».

4 Molières [1736], Leçon VII, Proposition IV, p. 144.

deliées ». Descartes écrit aussi que l'air se compose d'« un amas des parties du troisième élément, qui sont si deliées & tellement destachées les unes des autres, qu'elles obeissent à tous les mouvemens de la matiere du Ciel qui est parmy elles : ce qui est la cause qu'il est... rare, liquide & transparent, & que les petites parties dont il est composé, peuvent estre de toutes sortes de figures »¹. Les corpuscules du troisième élément qui entrent dans la composition de l'air se répartissent en trois espèces dont la première se compose de « figures fort empeschantes..., & dont les extremités s'estendent diversement çà & là, ainsi que des branches d'arbres ou choses semblables »². Molières critique aussi l'air conçu comme « une espece de duvet très-fin & très-délié, dont les parties sont des ressorts entrelassés & bandés l'un contre l'autre » ainsi que le conçoit « entr'autres M. Mariotte dans son Traité de la nature de l'air »³ ; ce dernier compare l'air à du « coton » pouvant développer ses « spires » qui s'appuyant les unes sur les autres « agissent en ressort »⁴. Boyle considère l'air comme « a heap of little Bodies, lying one upon another, as may be resembled as Fleece of Wooll »⁵. Fontenelle rapporte que l'air est composé d'une « infinité de petites lames à ressort, soit spirales, soit de telle autre figure qu'on jugera convenable »⁶.

Pour sa part, Molières estime qu'un ressort s'épuise au cours du temps tandis que l'air conserve depuis l'origine du monde son élasticité. Par ailleurs, l'extrême « lubricité » de l'air, à savoir « la facilité qu'ont ses parties à se séparer les unes des autres »⁷, s'avère impensable par l'assemblage de « parties branchuës, diversement entrelacées » et « prodigieusement bandées » : cet assemblage rend difficilement possible que ces « parties » puissent se « détacher si facilement les unes des autres, se mouvoir en tous sens avec une extrême liberté »⁸. Ces deux arguments figurent dans le prix de l'Académie de Bordeaux de 1733 remporté par Lozeran du Fesc, prix dont l'objet est « la connoissance [...] de la nature de l'air ». L'auteur rejette notamment les thèses qui composent l'air de « petites branches » ou de « lignes spirales » lesquelles ne peuvent pas au cours du temps conserver leur ressort. De telles formes ne se conservent pas à cause des frottements continuels de ces corpuscules et des mouvements violents de l'atmosphère et, par ailleurs, elles n'assurent pas la « liquidité » de l'air⁹.

Selon Molières, Descartes ne bénéficiant pas des expériences de Boyle relatives notamment à la « pesanteur », à la « lubricité », et au « ressort » de l'air, rien d'étonnant à ce qu'il se soit « contenté » d'une telle idée sur la nature des corpuscules d'air¹⁰. Il estime plus « étonnant » que d'autres savants ayant déterminés expérimentalement ces propriétés aient conféré aux parties de ce milieu la forme « de petites lames en limaçon » : c'est transporter

1 Descartes, *Principes*, IV, AT IX, art. 45 et 46, p. 226.

2 *Ibid.*, art. 33, p. 218. Voir aussi Régis, *Système de philosophie*, t. III, p. 248-249 qui évoque pour l'air des « branches fort pliantes, mais tres-propres à faire le ressort ».

3 Molières [1736], Leçon VII, Proposition I, p. 120.

4 Mariotte, *De la nature de l'air*, dans *Œuvres de M. Mariotte*, t. I, p. 173.

5 Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical, touching the Spring of the Air, and its Effects*, dans *The works of Robert Boyle*, vol. I, p. 141-301. Sur les expériences pneumatiques chez Boyle et de Mariotte et leurs conceptions de la nature de l'air, voir notamment Peter R. Anstey, « Le ressort de l'air selon Boyle et Mariotte », *La philosophie naturelle de Robert Boyle*, éd. Myriam Dennehy et Charles Ramond, Paris, Vrin, 2009, p. 379-403. Pour une analyse des expériences sur l'élasticité de l'air chez Boyle et plus généralement au XVII^e siècle, voir Charles Webster, « The discovery of Boyle's law and the concept of the elasticity of air in the seventeenth century », *Archive for History of Exact Sciences*, 2, 1965, p. 441-502.

6 Fontenelle, *Physique generale sur une nouvelle propriété de l'air, & une nouvelle construction de Thermomètre*, HARS 1702 (1743), p. 2.

7 Molières [1736], Leçon VII, Proposition I, p. 102.

8 *Ibid.*, Proposition IV, p. 146-147.

9 Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 7-12 et p. 12-28.

10 Pour les propriétés de l'air, Molières évoque la transparence de l'air, sa fluidité, la séparabilité de ses parties ; concernant sa pesanteur, sa dilatabilité, son élasticité, sa compressibilité, sa raréfaction et sa condensation, il résume les expériences de Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical, touching the Spring of the Air, and its Effects*. Voir Molières [1736], Leçon VII, Proposition I, p. 99-120. On retrouve dans Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 5 les mêmes références aux expériences de Boyle.

aux parties ce qu'on constate pour le tout sans pour autant « indiquer » d'où provient l'élasticité des lames¹. Ainsi, « l'air des Cartésiens est une chimère », le fruit de l'« imagination », l'expérience contredit cette conception qui s'avère incapable de rendre compte de la « lubricité » et de « l'élasticité ». Puis ces « branches » ou « lames » renferment justement la difficulté qu'il faut éclaircir, car c'est transposer les propriétés du tout – l'élasticité de l'air – au particulier – le ressort de ses parties –, sans donner la cause physique². Economie d'« hypothèses » et confrontation avec l'expérience guident alors le savant dans sa détermination de la nature de l'air.

En effet, suivant Molières la structure de l'air peut se déduire des principes qu'il a déjà établis. Ainsi, lors de la formation de la Terre, apparaissent des corps durs au sein des petits tourbillons qui par leur pesanteur se répandent dans l'atmosphère de la planète et

s'il est vrai [...] que l'amas de ces petits tourbillons du troisième élément possède toutes les propriétés que l'expérience nous oblige d'attribuer à l'Air ; & que chacune de ces propriétés ne soit en effet qu'une conséquence mécanique de celles qui conviennent en propre à ces petits tourbillons ; ne sera-t-il pas évident que cet amas [...] sera en effet l'air même que nous cherchons³.

Tout d'abord, l'expérience apprend que l'air est fluide, or un fluide se compose nécessairement de petits tourbillons⁴. L'air s'identifie alors à un « amas de petits tourbillons, qui ont chacun à son centre un globe pesant, & qui sont composés de petits tourbillons du second élément ou de l'Ether », ce globe expliquant la pesanteur de ce milieu⁵. Constitué de petits tourbillons se « balançant librement »⁶, ceux-ci rendent compte de son élasticité⁷, de sa compressibilité et de sa dilatabilité⁸, ainsi que de sa « lubricité » car les forces de deux tourbillons s'équilibrant en un point de contact « sont à l'égard d'une troisième qui y survient, quelque petite qu'elle puisse être, comme si elles n'étoient point », l'équilibre se rompant alors aisément⁹. Malgré leur opacité, ces globules durs n'altèrent pas la transmission des rayons lumineux et ne nuisent pas à la transparence de l'air, car ils sont petits à l'égard du tourbillon dont ils occupent le centre et « à proportion de leur grandeur très-écartés les uns des autres ». Enfin, la porosité de l'air vient de ce que le second élément occupe les espaces compris entre le troisième élément¹⁰.

L'air se composant de tourbillons de l'éther lesquels sont de plus petites tailles que les siens, ces derniers possèdent une plus grande force centrifuge, ceci rendant alors compte des différences d'élasticité entre les deux milieux et des différences des vitesses des propagations du son et de la lumière¹¹. Ces distinctions entre ces deux éléments permettent d'interpréter des

1 Molières [1736], Leçon VII, Proposition IV, p. 145.

2 Molières semble associer indifféremment les théories de Descartes et des « cartésiens » avec celles de Boyle, bien que leurs justifications de l'élasticité diffèrent, voir Clericuzio, « The Mechanical Philosophy and the Spring of the Air. New Light on Robert Boyle and Robert Hooke », *Nuncius*, 13, 1998, p. 69-75. Sur la distinction entre la philosophie mécanique et celle corpusculaire de Boyle, sur la construction de l'image de Boyle comme un philosophe mécaniste voir Clericuzio, « A redefinition of Boyle's chemistry and corpuscular philosophy ». Par ailleurs, remarquons que le « ressort » des corps reçoit une explication mécanique chez Descartes, la matière subtile tendant à suivre une circulation rectiligne dans les pores d'un corps fléchi fait recouvrer à ce dernier sa figure d'origine (voir Partie I, Chapitre II) ; Descartes ne transpose donc pas au particulier les propriétés du tout et son explication du « ressort » vient de la circulation de la matière subtile dans laquelle les particules d'air se trouvent, voir Descartes, *Principes*, IV, AT. IX, art. 46 et 47 p. 226-227.

3 Molières [1736], Leçon VII, Proposition IV, p. 155-156.

4 *Ibid.*, Proposition V, p. 156. Sur la fluidité qui procède des petits tourbillons, voir Partie II, Chapitre II et ci-dessous pour Lozeran du Fesc.

5 *Ibid.*, Proposition VI, p. 165 et p. 168-169.

6 *Ibid.*, Proposition V, p. 156.

7 *Ibid.*, Proposition VII, p. 170.

8 *Ibid.*, Proposition VIII, p. 173.

9 *Ibid.*, Proposition VI, p. 167.

10 *Ibid.*, p. 167-170.

11 *Ibid.*, Proposition VII, p. 171-173.

expériences dans la machine pneumatique. Ainsi « deux marbres polis » sont aussi fortement attachés l'un à l'autre dans le vide que dans l'air : « la matière éthérée [...] chassée d'entre les deux superficies contiguës de ces corps, les presse l'un contre l'autre avec toute sa force élastique » qui ne diminue pas dans la machine car l'éther passe librement entre les pores du verre. La « force comprimante » de l'air s'avérant « très-petite par rapport à celle de la matière subtile », elle n'apporte pas plus résistance à la séparation d'où cette égalité de force nécessaire à disjoindre les plaques dans l'air ou le vide. L'air – qui est un milieu appartenant au troisième élément – n'est donc pas le seul milieu comprimant, le premier et second élément possédant une force incomparablement plus grande¹.

Un tourbillon d'air comprend donc un globule en son centre et se compose d'autres tourbillons du second élément. C'est comme si une planète était au centre de son tourbillon et que ce tourbillon entraînait d'autres tourbillons dépourvus de masses en leurs centres : cette construction s'intègre au schéma global d'explication de la formation des corps sensibles tels que les astres ; la mécanique céleste constitue un fil conducteur tant l'élaboration des éléments repose sur une analogie astres-satellites transposé au microscopique. L'air se différencie de l'éther par ses corpuscules et donc il pèse contrairement à ce dernier. Ainsi conçu, il répond à la nécessité de l'équilibre global du système, l'éther s'opposant à l'expansion du second élément entrant dans la composition de l'air. Enfin, il se conforme aux propriétés établies expérimentalement par Boyle.

Sa structure permet de rendre compte d'expériences comme, par exemple, le comportement de la « vessie de carpe » placée dans une machine pneumatique. A mesure qu'on fait le vide dans un vase, le nombre de tourbillons de l'air (et l'éther qui le constitue) diminue et, par conséquent, « les petits tourbillons extérieurs [à la machine] de l'Ether seront forcés, parce que tout est plein » d'entrer dans le récipient, chose possible car l'éther est suffisamment petit pour franchir les pores du verre contrairement à l'air. Le second élément migre donc vers l'intérieur du vase, et les tourbillons de l'air s'en « emparent », les contraignent à circuler autour de leurs centres et ainsi ces tourbillons se « dilatent ». La force centrifuge d'un tourbillon d'air diminue donc (car sa taille augmente, et il faut supposer ici qu'il conserve une même vitesse de rotation), bien que les tourbillons de l'éther restent toujours de même taille (à l'extérieur comme à l'intérieur du vase) et équilibrés entre eux (ceci permettant de justifier le passage de la lumière dans le vide). Molières utilise l'image du bassin plein d'eau : des tourbillons « sensibles » peuvent s'agrandir (un tourbillon entraînant d'autres avec lui) et s'équilibrer mutuellement sans que cela nuise à l'équilibre des tourbillons « insensibles ». Inversement, si on fait rentrer l'air dans la machine, les tourbillons de l'air extérieur ont une plus grande force centrifuge car ils sont plus petits : ils s'agrandissent aux dépens de ceux qui sont à l'intérieur jusqu'à ce que tout s'équilibre. En supposant la « vessie de carpe » fermée dans une machine dont on fait le vide, l'air qui contient la vessie se dilate et ce afin d'équilibrer l'air qui reste dans le récipient et qui est en train d'être vidé². Le schéma explicatif repose ainsi sur la nécessité de la conservation d'un équilibre des milieux (air, éther).

Ainsi élaboré, l'air permet aussi de réinterpréter certaines observations. Selon Molières, « les vrais usages du Barometre » demeurent masqués par la confusion entre pesanteur et élasticité et par l'attribution au poids de l'air « des effets qui procedent immédiatement de son ressort »³. Ainsi, le compte-rendu *a priori* paradoxal d'observations de savants de l'Académie royale des sciences (par temps « clair & serein » le baromètre semble suggérer un air

1 *Ibid.*, Proposition XIV, p. 223-226.

2 *Ibid.*, Proposition VIII, p. 173-181 et « Remarque » p. 181-184.

3 *Ibid.*, Proposition X, p. 191.

« pesant » et par temps « nébuleux & chargé de vapeurs », il suggère un air « léger »¹⁾ se comprend si ce qu'ils attribuent à la pesanteur revient à son élasticité²⁾. Molières explique alors, dans un premier temps, ce que la suspension du mercure doit à l'élasticité, puis dans un deuxième temps les variations de cette dernière suivant le climat. Accordant que le « vif-argent » dans un baromètre s'élève à 28 pouces, il récuse qu'une telle mesure indique que « le poids de cette colonne [...] seroit égale au poids d'une pareille colonne d'Air, dont la hauteur égaleroit celle de l'atmosphère ». Molières imagine ce baromètre « enfermé dans le recipient d'une machine a vuide » lequel interdit toute communication entre l'air qu'il contient et celui à l'extérieur, et où alors seul le premier peut interagir avec le mercure ; dans ces conditions, il existe une disproportion entre le poids de l'air extérieur et celui du volume contenu dans la machine. En commençant à faire le vide, le mercure ne baisse que peu (il « pourra n'être descendu que d'une ligne ») : pour Molières, « l'air affoibli par le premier coup de piston » fait descendre le niveau car son « ressort » diminue et, en continuant l'opération, l'air devient de moins en moins « fort » et le mercure atteint « presque » le niveau de celui du vase, « presque » car il subsiste toujours un peu d'air dans la machine. Inversement, en laissant entrer l'air « peu à peu » dans le récipient, le baromètre s'élève et regagne sa hauteur initiale de 28 pouces : « bien qu'il n'y ait encore aucune communication entre cet Air & l'Air extérieur », il atteint une hauteur qui ne change pas une fois la cloche à vide ôtée (*ibid.*, p. 198-202).

Pour Molières, l'expérience informe donc sur l'état d'élasticité de l'air : ses variations résultent ici d'une diminution/augmentation du nombre de tourbillons qui implique des changements dans leurs forces centrifuges ; la raréfaction de l'air entraîne une augmentation de la taille de ses tourbillons et donc une perte de force centrifuge. Ainsi, « le Barometre est [...] la mesure exacte & précise, non pas du poids d'une colonne d'Air, qui monte jusqu'à l'extrémité de l'atmosphère [...] mais [...] de l'élasticité actuelle de l'Air » (*ibid.*, 203-204). Si l'air se charge des « molécules pesantes de l'eau, du sel, &c. », ses tourbillons « ne pourront pas évidemment circuler si promptement qu'ils faisoient, d'où s'ensuivra une diminution de leur force élastique »³⁾. Bien que l'air soit ainsi plus pesant, cette perte d'élasticité entraîne une baisse du niveau du mercure et rend compte des observations des académiciens faites par temps humide et pluvieux, alors que par temps sec le niveau du mercure s'élève car l'air est moins chargé⁴⁾. La pesanteur de l'air qui nous environne immédiatement augmente (ou diminue) lorsque le niveau de mercure baisse (ou s'élève) et ceci à cause de variations d'élasticité⁵⁾.

D'autres observations, tirées du mémoire de Maraldi, trouvent aussi leurs explications. Ainsi, le fait que dans des pays européens les variations barométriques surviennent principalement le même jour surtout si elles sont « promptes & subites » s'interprète par l'équilibre global des tourbillons : la modification de l'élasticité dans une zone géographique se communique « en fort peu de tems » dans des régions voisines par le jeu des forces centrifuges des tourbillons qui tendent tous à s'équilibrer. Par ailleurs, Molières voit dans ce type d'explications la possibilité de réfuter la thèse d'une terre aplatie aux pôles : sous l'effet de la chaleur, les petits tourbillons de l'air au niveau de l'Equateur sont plus grands et ont davantage de mouvement que partout ailleurs ce qui les rend susceptibles de se charger davantage de corps pesants rendant ainsi leur élasticité plus faible. Or, la pesanteur procède de l'élasticité des petits tourbillons, tant ceux composant l'air que ceux de l'éther, ce qui explique que les corps soient moins pesant dans ces zones et, conséquemment, que le pendule

1 *Ibid.* Il s'agit du mémoire de Giacomo Filippo Maraldi, *Expériences du Baromètre faites sur diverses Montagnes de la France*, MARS 1703 (1720), p. 229-237, voir surtout p. 235.

2 Molières [1736], Leçon VII, Proposition X, p. 192.

3 *Ibid.*, Proposition XI, p. 211-212

4 *Ibid.*, Proposition XII, p. 212-214.

5 *Ibid.*, p. 213.

battant la seconde doit être raccourci par rapport aux zones plus septentrionales ; les modifications d'élasticité expliquent celles de la pesanteur sans qu'il soit besoin de supposer une forme ellipsoïdale pour la Terre¹.

Concernant la nature de l'air, Lozeran du Fesc estime qu'il s'agit d'« un liquide dont les petites parties, ou molécules, ou les parties integrantes, ou les parties dures qui se meuvent separement [...] sont d'une extrême petitesse & très solides, & forment des petits tourbillons contigus », Lozeran supposant ces particules « un peu longues & très polies »², « extrêmement petites » et dont les pores, « si elles en ont », sont « petits au-delà de tout ce qu'on peut imaginer » (*ibid.*, p. 51-52). Ces particules sont « solides » car en les supposant percées d'« une infinité de pores », la matière éthérée passerait de tous côtés en sens différents et contraires et leur donnerait ainsi moins de mouvement ce qui semble contraire à « la grande liquidité de l'Air » (*ibid.*, p. 34)³. Ainsi, « chaque partie sensible d'Air [est] un amas de petits tourbillons » (*ibid.*, p. 55), ceux-ci résultant directement de la conception de la matière subtile de Malebranche : « le père Malebranche a prouvé par bien de fortes raisons, & on a applaudi assez généralement à son sentiment, que la matière éthérée est composée de petits tourbillons contigus, que forment par tout ses petites parties ; il faut donc aussi que les autres liquides, que l'Air ou ses parties integrantes, forment par tout des petits tourbillons ; le mouvement de liquidité est le même dans tous les liquides » (*ibid.*, p. 35-36).

La liquidité « consiste dans un mouvement des parties integrante du corps liquide selon toute sorte de détermination » (*ibid.*, p. 36). Comme déjà souligné (Partie II, Chapitre II), un tel mouvement « ne peut se conserver dans les petites parties d'un liquide, qu'autant qu'elles forment par tout de petits tourbillons qui se [contrebalancent] avec des forces égales » (*ibid.*, p. 38). L'éther causant la « liquidité », « les petits tourbillons de cette matière ne peuvent point agiter les parties integrantes de l'Air, & en faire un corps liquide, sans forcer ces petites parties d'obéir à leur détermination, & par conséquent sans former dans l'Air une infinité de petits tourbillons, qui doivent être certainement contigus » (p. 36). Selon Lozeran, ces « parties integrantes » ne peuvent se toucher que par « des surfaces infiniment petites » et, ainsi, « il y a toujours beaucoup de matière éthérée entr'elles, qui peut & doit toujours les entretenir en mouvement » (p. 51). Ceci empêche toute congélation de l'air⁴ et les contacts des parties solides entre elles qui pourraient nuire à la fluidité du milieu. Par ailleurs, la pesanteur de l'air exerce une compression plus forte sur les couches plus proches de la surface terrestre mais ceci n'altère pas la mobilité de ses parties « parce qu'elle n'en approche pas les petites parties integrantes jusqu'à se toucher immédiatement, & à se comprimer les unes les autres » et ce à cause des tourbillons d'éther (*ibid.*, p. 59). Lozeran ajoute que « les petits tourbillons de l'Air en renferment encore de plus petits, dont les petites parties ont chacune leur mouvement à part » ; une conclusion qui résulte d'une analogie tirée du « secours du microscope » montrant que les « parties integrantes » du sang forment des « globules [...] que chacun de ces globules est composé [d'] autres globules plus petits, & qu'ils tournent sur leur centre » (*ibid.*, p. 39-41).

Le milieu ainsi conçu permet de rendre compte de ses diverses propriétés. Ainsi de sa « liquidité » due au mouvement imprimé par la matière subtile aux « parties integrantes » et à la texture particulière de celles-ci. En effet, l'air possède un plus grand degré de liquidité que tout autre fluide notamment grâce à la plus grande « solidité » de ses corpuscules qui donnent ainsi moins de passages à l'éther dans leurs pores et reçoivent davantage d'impulsion ; grâce aussi au fait que ces petits corps ne se touchent que par des surfaces infiniment petites et qu'il y ait beaucoup d'éther entre eux (*ibid.*, p. 50-51). La compression et la dilatation de l'air

1 *Ibid.*, Proposition XIII, p. 218-223 et Proposition XV, p. 333-336.

2 Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 32-33.

3 Pour la « solidité », voir Partie I, Chapitre I.

4 Sur le rapport entre congélation, dureté et mobilité des parties integrantes d'un fluide, voir la fin de ce chapitre.

s'expliquent par « le ressort » des petits tourbillons et « l'idée seule du tourbillon en est une [preuve] sans réplique » (*ibid.*, p. 52-58). La structure de l'air justifie aussi sa pesanteur qui « a la même cause que celle des autres corps » : Lozeran ne détaille pas davantage ce point mais il y a tout lieu de penser que les « parties intégrantes » pèsent car ce sont des solides qui n'ont donc pas de mouvements tourbillonnaires (*ibid.*, p. 58-61). Enfin, Lozeran évoque la transparence du milieu due aux pores régulièrement espacés entre ses « parties intégrantes », espacements qui empêchent les multiples réflexions et réfractions de la lumière – ces réfractions proviennent de variations de densité du milieu, ici considérées insensibles – qui en atténueraient la transmission ; sa propriété à propager le son, qui se fait selon le modèle de fronts d'ondes utilisé pour la propagation de la lumière (*ibid.*, p. 86-91 et p. 91-100)¹.

Bien que Lozeran puisse avoir lu le premier tome des *Leçons* de Molières publié en 1733, il conserve une certaine originalité par rapport à cet auteur et son traité sur l'air est antérieur au tome des *Leçons* dévolu à cette question publié en 1736. Lozeran n'attribue pas une forme ronde aux « parties intégrantes » comme Molières, ces dernières semblant par ailleurs localisées aux surfaces des petits tourbillons et non au niveau des centres². Il n'élabore pas ici un système à l'instar de Molières, et il s'appuie manifestement sur celui de Malebranche, système au sein duquel il intègre sa réponse à la question de l'Académie de Bordeaux. Nous verrons, par ailleurs, que Malebranche est à nouveau convoqué par Lozeran dans ses dissertations sur le feu et sur l'orage.

L'eau et l'huile

L'élaboration de la structure des molécules d'eau repose sur le même schéma rédactionnel développé pour l'air : compte-rendu expérimental de ses principales propriétés³, réfutation de thèses de type corpusculaires, structure de l'eau selon la théorie des tourbillons, justification de ses propriétés par cette structure et explications d'autres phénomènes.

L'eau ne se compose ainsi ni de parties « longues » et « pliantes » agitées par la matière subtile, ni de globules durs dépourvus d'élasticité⁴. En évoquant ces parties « pliantes », Molières vise explicitement Descartes. Ce dernier suppose l'eau « composée de deux sortes de parties toutes longues & unies, dont les unes sont molles & pliantes, & les autres roides & inflexibles » et lorsqu'elles sont séparées les unes des autres, les premières forment l'eau douce aux parties flexibles « ainsi que des petites anguilles », les secondes les sels⁵. Molières estime que Descartes n'explique pas mécaniquement la « souplesse » qu'il confère aux parties de l'eau. Par ailleurs, l'élasticité de l'air et la pression qu'il exerce sur l'eau feraient que ces « petites parties longues, fines & pliantes », qui baignent dans l'éther et sont agitées par celui-ci, finiraient par se joindre et par former un solide. En effet, la force exercée par l'air – dont, écrit Molières, Descartes ne soupçonnait pas la force, connue depuis lors par les expériences de Boyle – chasserait la matière subtile entre ces parties ce qui entraînerait leur union. Ce même argument rend caduque la substitution des « lames pliantes » par des globules durs ou

1 Pour la nature de la lumière, l'explication de la réflexion et de la réfraction, voir le chapitre suivant.

2 Lozeran écrit que pour « M. l'Abbé de Molieres, [...] un corps qui circule ou décrit un cercle, se [meut] toujours avec la même vitesse, & [...] ainsi il ne perd rien de son mouvement ; ce qu'il conclut dans son traité des forces du tourbillon, d'une démonstration que M. Varignon avoit donnée en 1704 », *ibid.*, p. 44. Voir Partie II, Chapitre II pour cette « démonstration ». Lozeran placerait ainsi les « parties intégrantes » à la circonférence des tourbillons d'éther.

3 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition I, p. 233-243. Ces expériences apprennent notamment que l'eau est un milieu fluide, pesant, transparent, sans couleur, sans odeur, sans saveur, doux, ne transmettant pas le son, peu compressible, dilatable sous la chaleur, condensable et donnant naissance à la glace. Dans cette proposition, Molières cite Hermann Boerhaave, *Elementa Chemicæ*, Lugduni Batavorum, Isaacum Severinum, 2 tomes, 1732, sur lequel il est possible qu'il s'appuie pour cette liste des propriétés qui figurent dans le tome I.

4 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition II, p. 243.

5 Descartes, *Principes*, IV, AT IX, art. 35, 36 et 48 p. 219-220 et p. 227.

des corps de toute « autre figure »¹. Sur ce dernier point, soulignons que Boerhaave, que Molières mentionne dans son énoncé des propriétés de l'eau, rejette la conception de Descartes et qu'il conçoit ces parties « très roides, tout-à-fait inflexibles » et probablement sous la forme de « petites sphères »².

Selon Molières, la dilatabilité et la compressibilité de l'eau³ suggère que les molécules constituant ce milieu possèdent une « force intestine » capable notamment de « balancer le grand effort que l'air emploie à les comprimer »⁴ ; la nécessité de ne pas « multiplier les principes » invite à déduire « la construction mécanique des molécules de l'Eau »⁵ de propositions déjà établies. Comme tout fluide, l'eau se compose alors « d'un amas de petits tourbillons qui se balancent mutuellement » et, à cause de sa pesanteur, un « petit globe pesant » occupe le centre de ces tourbillons. Puisqu'une telle structure pourrait aussi correspondre à celle déjà rencontrée de l'air, et par cette raison que l'eau pèse 800 à 900 fois davantage que l'air, « nous sommes forcés de reconnoître » que l'eau est « un amas de petits tourbillons du second élément composés de petits tourbillons du premier élément, lesquels ont chacun à leur centre un globule pesant qui circule autour du globule principal qui est au centre de chacun des petits tourbillons de l'eau ». Molières utilise pour cette structure l'analogie avec les satellites de Jupiter en révolution autour de cette planète : chacun d'eux possède un tourbillon dont il est le centre – ce qui correspond à un tourbillon du premier élément de l'eau avec son corpuscule central – en révolution par l'entraînement du tourbillon de la planète dont elle est le centre – ce qui correspond au tourbillon du deuxième élément de l'eau avec son corpuscule central⁶. Les tourbillons du premier élément qui composent l'eau sont ici dits des tourbillons subalternes de ceux du deuxième élément de ce liquide.

L'eau se voit douée de fluidité par le fait que ses tourbillons « s'entresoutiendront » avec ceux de l'éther, les uns et les autres se « toucheront » en un seul point et s'équilibreront, « indice la plus parfaite de la fluidité »⁷ ; d'une élasticité plus grande que l'air par le fait qu'elle se compose de plus petits tourbillons ; d'une absence d'odeur, de saveur et d'une douceur au touché car « faisant équilibre avec les humeurs de notre corps, elle ne pourra pas y produire des impressions vives » ; puisqu'elle compose un milieu plus dense que l'air, les vibrations produites par les corps sonores ne pourront pas s'y transmettre de la même manière⁸ ; enfin, la raréfaction et la condensation résultent de la structure conférée au milieu. Sur ce dernier point, la chaleur ne consistant qu'en « une augmentation du mouvement dans toutes les moindres parties de la matière », si volume d'eau s'accroît sous l'effet de celle-ci ceci résulte du plus grand mouvement conféré aux tourbillons entraînant l'accroissement des forces centrifuges et donc de la taille des tourbillons ; inversement, sous l'effet du froid, puisque les mouvements et les forces diminuent, le diamètre des tourbillons suit la même

1 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition II, p. 243-246.

2 Boerhaave, *Elementa Chemicæ*, t. I, p. 563 : « quare elementa hæc neutiquam licet habere pro anguillulis flexilibus, repentibus sinuosos per flexus, ut subtilissimus Cartesius [...] Imo videntur extremæ Aquarum partes esse quam rigidissimæ, prorsumque inflexiles, & adamantinæ duritici. An ergo sunt spherulæ æqualiter perfectæ, solidæ ? satis id probabile ». Voir la traduction dans Boerhaave, *Elémens de Chymie*, Amsterdam, Leipzig, Arkstee et Merkus, 1752, t. II, p. 582-583 : « on ne peut donc pas regarder, avec Descartes [...] ces Eléments comme autant de petites Anguilles flexibles, susceptibles de diférens plis. Il est au contraire fort vraisemblable que les plus petites parties de l'Eau sont très roides, tout-à-fait inflexibles, & d'une dureté égale à celle du Diamant. Seroient elles donc de petites sphères, toutes également parfaites & solides ? La chose est assez probable ».

3 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition III, p. 247-248.

4 *Ibid.*, Proposition III, p. 246.

5 *Ibid.*, Proposition IV, p. 249-250.

6 *Ibid.*, p. 250-254.

7 *Ibid.*, Proposition V, p. 256. Concernant cet équilibre, Molières mentionne que l'eau d'un vase placé dans une machine dont on a fait le vide ne se dilate pas : les tourbillons de l'air évacué de l'enceinte ne « balancent » donc pas ceux de l'eau, mais seulement les tourbillons du « second élément » pouvant passer à travers les pores du verre. *Ibid.*, Proposition IV, p. 253 et Proposition VII, p. 261-263.

8 *Ibid.*, Proposition V, p. 257-258.

évolution afin de conserver l'équilibre avec le second élément, ce qui entraîne un volume plus petit¹.

Ce surcroît de pesanteur de l'eau est un élément permettant ainsi de penser la distinction entre ce liquide et l'air. Par ailleurs, Molières considère que les « molécules » d'eau – une molécule est ici l'ensemble comprenant des petits tourbillons avec les globules durs qu'ils entraînent – sont plus petites que celles de l'air, et qu'elles surpassent en taille celles des tourbillons du second élément de l'éther². Ainsi s'explique que les molécules de l'eau passent par des issues plus étroites que celles où peuvent s'infiltrer celles de l'air : elles passent à travers le cuir sur lequel le récipient d'une machine à vide est posé, ce que ne fait pas l'air³. Malgré cette différence de taille, les tourbillons d'eau et d'éther demeurent en équilibre : ceux de l'eau, plus grands que ceux de l'éther, possèdent *a priori* une moindre force centrifuge mais, selon Molières, les masses qu'ils contiennent compensent cette différence⁴. En effet, « les petits tourbillons composés d'autres tourbillons encore plus petits qui ont chacun un globule pesant à leurs centres, faisant équilibre avec des tourbillons ordinaires, seront nécessairement plus grands que ces tourbillons ordinaires ». Ceci vient de ce que « les molécules qui composent un de ces tourbillons, & qui circulent autour de son centre, [les tourbillons subalternes] auront, à vitesse égale, plus de force que n'en auront les molécules des autres petits tourbillons qui ne sont pas entourés de ce cortège nombreux de globules pesants. Par la même raison qu'une bale de plomb & une bale de liège de même grosseur, poussés dans l'air avec une vitesse égale, celle de plomb qui est la plus pesante va beaucoup plus loin, & a par conséquent plus de force que celle de liège »⁵. Ce dernier argument reprend ici les notions de solidité/agitation rencontrées notamment chez Descartes (Partie I, Chapitre I). Ainsi, si un tourbillon qui comprend des globules à sa périphérie est plus grand et tourne à la même vitesse que ceux qui l'entourent qui ne possèdent pas de corps pesants, ce tourbillon et son environnement peuvent s'équilibrer mutuellement car la grandeur du tourbillon limite sa force centrifuge tandis que les masses qu'il porte compensent cette moindre force ; s'il était de même taille, il aurait plus de force centrifuge que ses voisins et « s'agrandiroit à leurs dépens ». Alors, « ce tourbillon sera donc toujours au moment de l'équilibre plus grand que chacun des autres » (*ibid.*, p. 37). Une telle conception est fondamentale : elle permet de justifier un équilibre entre différents « principes » et, comme nous le verrons, la manière dont un « principe » peut se transformer en un autre.

Un fait expérimental vient préciser la constitution de l'eau et illustrer comment un élément peut se changer en un autre. Molières rapporte qu'en pompant l'air « sous le récipient d'une machine du vuide » renfermant une bouteille remplie d'eau renversée dans un vase contenant le même liquide, l'eau descend de la bouteille et il en sort « une prodigieuse quantité de bulles ». Ensuite, en laissant l'air rentrer, le liquide remonte sans remplir l'intégralité de la bouteille, laissant un espace occupé par de l'air ; Molières entend expliquer l'origine d'un si grand volume d'air⁶. Il récuse tout d'abord les interprétations des « Cartésiens » qui jugent que les pores de l'eau contiennent un air « extrêmement comprimé »⁷ : selon Stephen Hales⁸

1 *Ibid.*, Proposition VIII, p. 267-268.

2 *Ibid.*, Proposition VI, p. 260.

3 *Ibid.*, Proposition VI, p. 238-239. Mais l'eau ne franchit pas les pores du verre contrairement à l'éther, et ses tourbillons sont donc plus grands. Cet exemple figure aussi chez Boerhaave, *Elementa Chemiæ*, t. I, p. 555-556.

4 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition VI, p. 259-260.

5 Molières [1736], Leçon VI, Proposition VI, p. 35-36.

6 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition X, p. 284-285. Pour cette expérience, voir notamment Mariotte, *De la nature de l'air*, p. 171-173 et Boerhaave, *Elementa Chemiæ*, t. I, p. 509-511.

7 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition X, p. 290.

8 Molières évoque Hales qui a montré qu'« il sortoit une prodigieuse quantité d'air, de presque toutes les matières soumises aux opérations de la Chimie », ou bien que la matière « absorboit souvent une bonne quantité d'air », *ibid.*, p. 287-288, et décrit certaines de ces expériences (Proposition XI, p. 333-336). Voir Hales, *La statique des végétaux et l'analyse de l'air. Expériences nouvelles lûes à la Société Royale de Londres*, Paris, Debure l'aîné, 1735. Dans le chapitre VI de ce

et « d'autres Phisiciens », la « force immense » voire « comme infinie » requise pour « réduire une si grande quantité d'air dans un espace insensible » rend « insoutenable » cette thèse¹. Par ailleurs, Molières réfute les interprétations de « Phisiciens illustres » qualifiés de « Newtoniens ». Il note qu'ils supposent « deux facultés opposées » aux molécules d'air « qu'ils supposent nager dans le vuide », celle de « s'entrepousser violemment, sans se toucher » lorsqu'elles sont à une certaine distance justifiant ainsi « une certaine vertu d'expansion » et, pour un éloignement moindre, celle de « s'attirer avec force » : lors du passage d'un grand à un plus petit volume, cette « premiere faculté les [particules d'air] abandonne tout d'un coup [...] leur seconde faculté se saisisse d'elles, & [...] s'attirant mutuellement avec autant de force qu'elles se repousoient, elles se réduisent à n'occuper plus qu'un point imperceptible »².

Tel est le cadre théorique sur lequel Hales s'appuie pour interpréter ses expériences³. Newton convoque aussi des « forces répulsives » qui agissent sur les parties de l'air ou de vapeurs issues de fermentations⁴. Pour sa part, Boerhaave mentionne les attractions réciproques entre les particules d'air ainsi que leurs forces répulsives, et évoque l'attraction de l'air dissout dans les liqueurs dont les parties se repoussent « lorsqu'elles sont réunies aussi près qu'il est possible », ajoutant que « c'étoit là le sentiment de Newton »⁵. Plus généralement, les « physiciens » critiqués par Molières sont ceux dont les travaux promeuvent des attractions et des répulsions pour expliquer les opérations chimiques. Il peut aussi bien s'agir de savants tels que Keill ou Freind⁶ que des auteurs continentaux, tels que le rédacteur anonyme du *Nouveau cours de chymie*⁷ ou encore Etienne François Geoffroy, collègue de Molières à l'Académie, qui publie en 1718 sa *Table des differents rapport observés en Chimie entre différentes substances*⁸, et qui passait à l'époque pour un « newtonien » même s'« il s'est toujours tenu à l'écart aussi bien du mécanisme cartésien que du newtonianisme »⁹.

Pour Molières, expliquer la grande quantité d'air sortie de l'eau par de telles forces renferme les « mêmes impossibilités » reprochées aux « cartésiens ». En effet, après avoir fait le vide, en retirant ensuite le dispositif de la machine et le soumettant ainsi à l'air libre, puis

livre, Hales rend compte par des expériences de distillation de la quantité d'« air » (il n'évoque pas les gaz) contenu par des liqueurs ou des corps solides, ou bien de celui obtenu et absorbé lors de mélanges de réactifs.

- 1 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition X, p. 290-293. Pour cette critique, voir par exemple Hales, *La statique des végétaux*, p. 183-186 et Newton, *Traité d'optique*, Question XXXI, p. 565-566.
- 2 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition X p. 294-295.
- 3 Hales, *La statique des végétaux*, Préface, p. xvi-xvii, et p. 183-186.
- 4 Newton, *Traité d'optique*, Question XXXI, p. 565-566. Voir p. 553 pour la « force répulsive » des parties des sels dissouts dans l'eau.
- 5 Boerhaave, *Elementa Chymia*, t. I, p. 432-433, p. 454, p. 519-521 et p. 524. Voir Boerhaave, *Eléments de chymie*, t. I, p. 532 pour la citation.
- 6 Voir John Keill, *Joannis Keil...In qua Leges Attractionis aliaque Physices Principia Traduntur*, *Philosophical Transactions*, vol. XXVI, 1708-1709, London, H. Clements, 1710, May-June 1708, n° 315, p. 97-110 ; John Freind, *Prælectiones Chymicæ*, John Bowyer, Londres, 1709. Pour un aperçu de la théorie newtonienne de la matière et de son influence en chimie, voir Arnold Thackray, *Atoms and Powers : An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, Cambridge MA, Harvard University Press, 1970 ; Anita Guerrini, « Chemistry Teaching at Oxford and Cambridge, circa 1700 », éd. Piyo Rattansi et A. Clericuzio, *Alchemy and Chemistry in the 16th and the 17th Century*, Dordrecht, Kluwer, 1994, p. 183-199. Sur l'usage de forces répulsives, voir Arthur Quinn, « Repulsive force in England, 1706-1744 », *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 13, n° 1, 1982, p. 109-128.
- 7 *Nouveau cours de chymie, suivant les principes de de Newton & de Sthall*, Paris, Jacques Vincent, 1723. La première partie (p. 4-150) de ce livre développe une critique du mécanisme cartésien et prône un usage du « magnétisme » pour les opérations chimiques, c'est-à-dire d'une action à distance. Sur ce livre, ses références à une école anglaise, et son attribution à Etienne François Geoffroy, voir Joly, « L'anti-newtonianisme dans la chimie française au début du XVIII^e siècle », p. 222-224.
- 8 Etienne François Geoffroy, *Table des differents rapport observés en Chimie entre différentes substances*, MARS 1718 (1720), p. 202-212. Fontenelle, au sujet de cette table, évoque un « Systeme singulier » où l'introduction de « ces Affinités firent de la peine à quelques-uns, qui craignirent que ce ne fussent des Attractions déguisées », voir *Eloge de M. Geoffroy*, HARS 1731 (1733), p. 99.
- 9 Voir ce point Joly, « Etienne-François Geoffroy, entre la Royal Society et l'Académie royale des sciences : ni Newton, ni Descartes », *Methodos*, 12, 2012, <http://journals.openedition.org/methodos/2855>.

en réitérant le pompage, la même quantité d'air sort de l'eau : elle ne peut provenir que du contact avec l'atmosphère, mais cette dernière ne fait entrer l'air dans le liquide « que dans le même état de compression où il [l'air] est hors de l'eau », autrement dit sous la pression atmosphérique, tandis que l'air sortant de l'eau « paroît y avoir été extrêmement comprimé »¹. Avancer « que ce sont les molécules de l'eau qui par la force attractive qu'ils [les newtoniens] leur attribuent, ont humé cet air » au point d'en absorber un volume dépassant celui du liquide semble impossible². En effet, Molières note que l'air comprimé jusqu'à une certaine valeur ne perd rien de « sa vertu élastique »³. Dès lors, avant que l'air entraîné par l'eau « ait pû perdre sa force élastique pour prendre celle d'attraction », expliquant ainsi sa compression dans l'eau, il faut que la force attractive de l'eau surmonte celle élastique de l'air, or « l'extrême lubricité » des molécules d'eau et la « force si énorme » de l'air suggèrent plutôt que les molécules d'eau « se seront dispersées » avant même d'avoir surmonté cette force⁴.

L'explication requise passe par un développement sur la nature de « l'huile » qui correspond « à cette matiere inflammable à laquelle les Chimistes ont donné le nom de Soufre »⁵. Comme tous les fluides, l'huile ne peut pas être, comme le pense Descartes, un assemblage de « parties branchuës entrelacées les unes aux autres » pour les raisons déjà évoquées à propos de l'air et de l'eau⁶. Puis sa grande inflammabilité fait « juger que ses molécules ont un rapport immédiat avec les petits tourbillons du premier élément dans lequel réside le plus grand mouvement », premier élément qui donne son origine au feu⁷. Ainsi, comme des petits tourbillons se détachent des grands tourbillons célestes en se chargeant d'un « globule pesant » pour former des tourbillons du troisième élément et en l'occurrence l'air, comme les « molécules » se détachent de ce troisième élément en se chargeant de globules et forment l'eau, molécules qui s'équilibrent avec le deuxième élément, « nous devons penser de même » que les molécules d'huile sont des tourbillons du premier élément qui chargés de globules pesants se sont détachés du second et s'équilibrent avec ce premier élément⁸. Ces molécules d'huile se composent alors d'un globule pesant autour duquel circulent d'autres tourbillons plus petits possédant eux-mêmes un corpuscule. Le petit tourbillon central portant le corpuscule est du même genre que ceux subalternes de l'eau (et donc du premier élément)⁹ ; ces molécules d'huile forment des tourbillons plus grands que le premier élément – car ils portent des corpuscules – et seront aussi plus grands que les tourbillons subalternes de l'eau qui ne possèdent qu'un corpuscule¹⁰ ; ils demeurent cependant « incomparablement plus petits » que les tourbillons de l'eau¹¹. Ainsi, par le jeu des globules pesants et l'enchâssement des ordres de tourbillons, ces tourbillons sont « aux molécules de l'eau ce que celles de l'eau sont à celles de l'air ». Outre l'inflammabilité, la communication immédiate avec le premier élément assure la « viscosité, ou adhérence » de ses parties car la viscosité de

1 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition X, p. 292-293 et p. 296.

2 *Ibid.*, p. 296-297. Voir une telle explication, par exemple, chez Boerhaave, *Elementa Chemicæ*, t. I, p. 518-519.

3 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition X, p. 298.

4 *Ibid.*, p. 298-299.

5 *Ibid.*, Proposition IX, p. 272.

6 *Ibid.*, Proposition IX, p. 273. Descartes, *Principes*, IV, AT IX, art. 62, p. 235 évoque les « branches fort déliées & flexibles » qui se joignant « composent le soufre, le bitume, & generalement toutes les matieres grasses ou huileuses qui sont dans les mines ».

7 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition IX, p. 273-274. Pour le rôle de ces tourbillons du premier élément dans le feu, et cette communication entre le feu et les molécules d'huile voir dans ce chapitre la section dévolue aux théories du feu.

8 *Ibid.*, p. 275.

9 Rappelons que l'eau se compose d'un tourbillon du second élément avec en son centre un corps dur, tourbillon qui entraîne de plus petits tourbillons – dits subalternes – du premier élément dont chacun des centres est le siège d'un corps dur.

10 Bien que plus grands, ils sont malgré tout en équilibre avec le premier élément d'après Molières [1736], Leçon VI, Proposition VI, p. 35-37 évoquée dans les pages précédentes.

11 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition X, p. 279-280.

l'eau résulte de la pression du second élément, tandis que celle de l'huile de la pression « incomparablement plus grande » du premier élément¹.

Dès lors, selon Molières, les difficultés pour expliquer les bulles d'air sortant de la bouteille sous la machine à vide résultent de « préjugés », à savoir « que les molécules de l'air étoient indissolubles ; & que des parties incomparablement plus petites ne pouvoient jamais devenir dans certaines circonstances aussi grandes que celles de l'air »². Préjugés s'évanouissant en s'attachant à la nature de l'huile et de l'air, l'éther assurant la possibilité de passer d'un milieu à un autre. En effet, Molières suppose qu'entre l'espace laissé libre par les tourbillons de l'eau se trouve des tourbillons d'huile dont certains pourront s'être agrandi et occuper le centre de cet espace au point d'être en équilibre avec ceux de l'eau, lesquels équilibrent les autres tourbillons entrant dans la constitution de l'air. Ces tourbillons d'huile ne peuvent s'agrandir à moins qu'une cause étrangère ne les y contraigne. Or, la machine pneumatique provoque une rupture de cet équilibre global. L'eau, suivant les observations de Boyle, augmente un peu son volume en pompant l'air et, conséquemment, ses tourbillons suivent la même évolution ce qui provoque une diminution de leurs forces centrifuges rompant ainsi l'équilibre avec ceux de l'huile qui, bien que tout en subissant aussi une diminution de leurs forces, n'en subissent qu'une perte moindre car les tourbillons d'huile sont plus petits. Ils s'agrandissent alors plus subitement que ceux de l'eau, entraînent avec eux des tourbillons de l'éther qui passent à travers les pores des verres et dans l'eau ; ces tourbillons d'huile sortent des espaces angulaires où l'eau les retenait, et finissent par équilibrer les tourbillons de l'air et se transformer en eux et, se joignant plusieurs ensemble, ils donnent naissance aux bulles observées. Ainsi, le volume d'air extrait n'a ni été comprimé dans l'eau ni « attiré par aucune vertu » propre aux molécules de ce fluide, mais résulte des molécules d'huile, d'un jeu de rupture d'équilibre, du fait qu'elles s'agrandissent jusqu'à équilibrer l'air et devenir air (*ibid.*, p. 316-322). L'ébullition de l'eau contenue dans un récipient soumis au feu s'explique par le même principe, ce feu agissant sur les molécules huiles les agrandit et les transforme en air (*ibid.*, p. 326-328).

Molières convoque ces molécules d'huile pour expliquer d'autres propriétés. Ainsi, par exemple, bien que toujours soumise à un feu, l'eau « après avoir bouilli environ un quart d'heure & avoir augmenté son volume jusqu'à un certain point, cesse d'acquérir de nouveaux degrés de chaleur & de raréfaction »³. Ceci résulte du fait que le feu ne peut communiquer son action que par les molécules d'huile lesquelles, en s'agrandissant par le mouvement qu'il leur donne, agissent à leur tour sur celle de l'eau puis s'échappent du liquide sous forme d'air suivant le processus expliqué ci-dessus ; dépourvue de l'huile, l'eau cesse d'en recevoir le mouvement et se raréfie donc jusqu'à un certain degré (*ibid.*, p. 385-387).

Sur la nature de l'eau, de l'air et de l'huile, Launay ne suit pas « en tout le sentiment de l'Auteur des *Leçons de Physique* »⁴ mais, s'il s'éloigne du détail des explications données par Molières, il en suit l'esprit. Ainsi, il apporte une variante en supposant que l'eau « est un fluide composé de tourbillons du second élément, chargés seulement d'un globule dur à leurs centres » (*ibid.*, p. 319) : bien qu'elle se compose de tourbillons du premier élément, ceux-ci, contrairement à l'opinion de Molières, ne portent pas de globules durs⁵. Puis l'air « est un fluide composé de tourbillons du troisième élément, dont chacun porte à son centre une molécule d'eau » (*ibid.*, p. 323) ; il consiste en un amas de tourbillons du second élément dont certains possèdent un corpuscule (et appartenant ainsi au troisième élément sous la forme

1 *Ibid.*, p. 280-281.

2 *Ibid.*, Proposition XI, p. 314.

3 *Ibid.*, Leçon IX, Proposition V, p. 385.

4 Launay, *Principe du système des petits tourbillons*, p. 318.

5 Launay estime que si les tourbillons du premier élément portaient des corps durs, ceux-ci n'accompliraient pas leur mouvement de rotation autour du globule placé au centre du tourbillon du second élément, mais le rejoindraient à cause de leur pesanteur, *ibid.*, p. 321-322.

d'eau) et d'autre non (*ibid.*, p. 324)¹. Enfin, l'huile « n'est [...] qu'une espece d'eau dont les petits tourbillons élémentaires sont presque tous chargés de globules durs, seulement à leur centre, & non point à leur superficie » (*ibid.*, p. 326).

Chez Keranflech, comme pour Molières, différents ordres de tourbillons se chargent de corpuscules pesants et « ces sont ces amas de chaque ordre de ces tourbillons à globes pesants, qui en contiennent aussi de subalternes d'un ou plusieurs ordres, & que la pesanteur a rabattus de toutes parts vers la terre [...] qui composent les *liquides-principes*, comme l'eau, les différentes sortes d'huiles, les divers sels &c. »² Ces tourbillons équilibrent différents ordres de tourbillons de l'éther (*ibid.*, p. 86), et l'hétérogénéité des « liqueurs » résulte de « toutes les combinaisons qui se peuvent faire, tant des petits tourbillons mêmes, que des globules, & de leurs quantités & qualités les uns avec les autres », sans qu'il soit besoin de recourir à la combinaison de l'éther avec des « pointes », « matières branchues », ou autres « parties souples » du « premier Cartésianisme » (*ibid.*, p. 91-92). Sur ce dernier point, et relativement à la nature de l'air, Keranflech estime que « Mr. De Molières [...] relève parfaitement les défauts des systèmes qui l'ont précédé » en rejetant l'idée d'une « figure » à attribuer aux parties de cet élément pour répondre à ses propriétés sensibles, et en lui substituant des tourbillons (*ibid.*, p. 192-193). Les éléments possèdent donc la forme de globes animés par des tourbillons de différents ordres. Si Keranflech ne précise pas, comme le fait Molières, « l'architecture » qu'il convient de donner aux différents « *liquides-principes* », l'influence des *Leçons de physique* est patente.

Les sels

Un sel se définit comme « une matiere savoureuse, seche, friable ; que l'Eau dissout sans le détruire, & que le Feu calcine & fond comme un métal »³. La première évocation de sa structure intervient lors de l'explication du mécanisme de dissolution, lequel donne lieu à une critique des « figures » que les cartésiens confèrent aux sels⁴. Fidèle aux principes et méthodes développées, Molières attribue une forme sphérique aux « molécules » des sels, c'est-à-dire au « dernières parties du mineral ». Elles sont plus pesantes, plus denses et plus petites que celles de l'eau, « ce qui n'empêche pas que celles d'un certain sel ne puissent être plus ou moins grosses, plus ou moins pesantes, & plus ou moins polies que celles d'un autre »⁵.

Les sels se composent de molécules d'huile ce qui explique leur réaction avec le feu ou rend compte de phénomènes tels que l'effervescence observée dans des réactions entre acides et alkalis (voir ci-dessous). De manière générale, un sel correspond à des molécules d'huile qui se chargent « dans les entrailles de la Terre de particules terreuses, beaucoup plus denses & plus pesantes qu'à l'ordinaire », ce qui peut donner naissance aux « sels acides » et aux « sels alkalis »⁶. Les molécules des sels se distinguent de celles de l'huile par la plus grande densité et pesanteur des masses dures qu'elles entraînent⁷. Les différences entre les sels « ne sont pas si grandes qu'on ne puisse rapporter tous ces sels à un même principe » : « ce ne sont que de petits tourbillons enveloppés de particules dures & alkalines, diversement entremêlées

1 Ainsi l'air pèse moins qu'un pareil volume d'eau car il contient moins que celle-ci de « molécules d'eau ».

2 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 84.

3 Molières [1736], Leçon IX, Proposition VII, p. 397. Molières résume différentes caractéristiques de sels et la manière de les obtenir. Il évoque ainsi le « *Sel commun* », le « *Nitre* » ou « *Salpêtre* », le « *Borax* », le « *Vitriol* » ou « *Couperose* », le « *Sel Ammoniac* », le sel « *essentiel* » et l'autre « *fixe* » ou « *Alkali* » que contiennent les plantes, *ibid.*, p. 397-413. L'ordre suivi et le contenu s'avèrent proches de ce qui peut se rencontrer chez Boerhaave, *Elementa Chymia*, t. I, p. 43-46 ou Lémery, *Cours de Chymie*, t. I, p. 9-16 et les chapitres XIV à XVII.

4 Pour cette critique et l'explication de la dissolution, voir ci-dessous dans ce chapitre.

5 Molières [1736], Leçon IX, Proposition IX, p. 420.

6 Molières [1737], Leçon XII, Proposition IX, p. 203.

7 *Ibid.*, p. 205-206.

de molécules d'huile plus ou moins développées »¹. Ainsi, ce que les chimistes nomment « Terre & Alkali ne sont que des molécules dures plus ou moins grandes, plus ou moins pesantes, plus ou moins polies les unes que les autres, entremêlées de molécules d'huile de différentes grandeurs qui remplissent les pores que ces globules laissent entr'eux ». Les acides, tout comme l'éther, l'air, l'eau, l'huile, « sont des amas de petits tourbillons de divers genres, qui par leurs mouvemens circulaires entraînent & séparent les unes des autres ces particules terreuses & alkalines en plus ou moins grande quantité »². Ces particules alkalines « doivent être d'une subtilité qui surpasse comme infiniment celle des molécules des autres sels qui [...] sont composés d'un grand nombre de ces globules »³.

Molières propose alors les différentes structures de sels. Ainsi, notamment, celle du « sel commun » (« petits tourbillons chargés & enveloppés de particules terreuses, dures subtiles & entremêlées de molécules d'huile très-fines »), des « vitriols » (qui diffèrent du « sel commun » par des particules dures d'origine « métalliques : ou d'une matiere plus dense, plus pesante ; & [...] les molécules de l'huile qui les lient sont un peu plus développées que dans le sel commun »), des « sels essentiels » tirés des plantes (« où les particules alkalines se sont beaucoup plus divisées, & où les molécules de l'huile que ces sels contiennent se sont beaucoup plus étenduës & développées que dans les sels minéraux ; ce qui les rend plus faciles à être décomposés ») ou encore des « sels alkalis » retirés des plantes par calcination (ce sont les « particules dures » des sels précédents « dégagées de leurs acides ou des petits tourbillons dans lesquels elles circuloient »)⁴.

L'élaboration des « principes » : l'image des sédiments

L'image de processus de sédimentation permet de synthétiser la conception des principes que se fait Molières. L'air est formé de petits tourbillons originellement « répandus » dans tout le tourbillon terrestre qui se sont chargés d'un globule pesant ; ceux-ci contraignent ces tourbillons « à descendre vers nos régions », et l'air « peut être considéré comme un *sédiment* qui s'est dégagé de la matiere que forme ce grand tourbillon ». L'eau est une « autre espece de *sédiment* composé de petits tourbillons du second élément », dont l'air et le troisième élément sont aussi formés : ses tourbillons « se sont dégagés à cause de leur pesanteur des petits tourbillons de l'air », pesanteur due aux globules en leur centre et périphérie. L'huile est un « *sédiment* composé de petits tourbillons du premier élément » constitutifs des tourbillons du second élément, et ces molécules d'huile possèdent « à leurs centres & dans toute l'étenduë de leur capacité un bon nombre de très-petits globules pesants, [qui] se sont détachés à cause de leur pesanteur des petits tourbillons du second élément »⁵. Cette conception, et les différents équilibres subsistants entre les différents ordres d'éther et les éléments, fondent l'« Architecture fine & délicate » des éléments⁶.

Ether	C'est un « milieu d'une étenduë immense, composé de petits tourbillons de differens ordres, emboëtés les uns dans les autres » ; on peut y distinguer « autant de differens milieux fluides, élastiques & legers, aussi étendus l'un que l'autre, qu'il y avoit dans l'éther de differens ordre de petits tourbillons » (Molières [1736], Leçon XII, Proposition IX, p. 195-196)
-------	--

1 *Ibid.*, Proposition XIII, p. 247-248.

2 *Ibid.*, p. 236-237.

3 *Ibid.*, Proposition VIII, p. 186.

4 *Ibid.*, Proposition XIII, p. 242-244.

5 Molières [1736], Leçon VIII, Proposition IX, « Remarque », p. 282-283.

6 Molières [1737], Leçon IX, Proposition IX, p. 203.

Terre	Il s'agit de « la matiere » des « petits globes durs & pesans » formés aux « centres d'un grand nombre de petits tourbillons de tous les ordres » et qui se répand à l'intérieur de la Terre et sur sa superficie, qui est sans « mouvement circulaire », qui n'est ni « fluide par elle-même, ni élastique, ni legere » mais « pesante dense, & sans action » propre (Leçon IX, Proposition IX, p. 199-200)
Air	Il s'agit d'un « sédiment formé des petits tourbillons du premier ordre devenus pesans » ; c'est un « amas de petits tourbillons du premier ordre composés d'autres petits tourbillons du second ordre qui avoient chacun un globe pesant à leurs centres, & qui balançoient, ou faisoient équilibre avec les tourbillons du premier ordre de l'éther » (Leçon XI, Proposition IX, p. 200) ¹ .
Eau	Il s'agit d'un « sédiment composé des petits tourbillons du second ordre, qu'on nomme [...] second élément, devenus pesans, & qui s'étant détachés des tourbillons du premier ordre avoient formé un milieu à part beaucoup plus pesant, plus dense & plus subtil que le précédent [l'air], & dont les molécules étoient des petits tourbillons du second ordre, composés d'autres petits tourbillons du troisième ordre qui avoient chacun un globule pesant à leurs centres » ; l'équilibre se fait avec « les tourbillons du second ordre de l'éther, ou [dits] du second élément » (Leçon XI, Proposition IX, p. 200-201)
Huile	Il s'agit du « sédiment formé des petits tourbillons du troisième ordre (qu'on nomme communément premier élément) devenus pesans, & qui s'étant détachés des tourbillons du premier & du second ordre, avoient formés un milieu à part beaucoup plus subtil que le précédent [l'eau], & dont les molécules étoient des petits tourbillons du troisième ordre composés d'autres petits tourbillons du quatrième ordre qui avoient chacun un globe pesant à leur centre » ; l'équilibre se fait avec « les petits tourbillons du troisième ordre ou du premier élément » de l'éther (Leçon XI, Proposition IX p. 201-202).
Sel	Molécules d'huile qui se chargent « dans les entrailles de la Terre de particules terreuses, beaucoup plus denses & plus pesantes qu'à l'ordinaire » et qui composent alors les « sels acides » et les « sels alkalis » (Leçon XI, Proposition IX, p. 203).

Table des structures des « principes » en fonctions de différents ordres de tourbillons

LES OPERATIONS CHIMIQUES OU LA RUPTURE D'EQUILIBRE COMME « CISEAU UNIVERSEL »

Molières s'attache au versant expérimental de la chimie en définissant les moyens « pour séparer des mixtes les différentes substances dont ils sont composés » (la filtration, la dissolution, la fermentation, cristallisation etc.)², en décrivant différents appareils (fourneau, cornue, matras etc.) et en explicitant des usages (*ibid.*, p. 7-12), en définissant certains termes qu'il s'agisse de modes opératoires (« bain-marie », « feu de fonte » etc.) ou de dénominations de substances avec leurs propriétés – ainsi du « sel acide » qui dissout les métaux en provoquant une « *Fermentation* », une « *effervescence* ou chaleur considérable », « une *ébullition* suivie de la *précipitation* d'une matiere sèche – (*ibid.*, p. 12-29), puis en s'attachant, à travers quatre propositions, à la description de phénomènes et opérations chimiques propres aux sels (acides, alkalis, ceux issus des métaux). Ces propositions concernent « la décomposition & la régénération » des sels minéraux qui prouvent que leurs molécules se composent « d'Acide & d'Alkali intimement unis par la fermentation »³, ce que

- 1 Rappelons qu'un petit tourbillon d'un ordre donné qui possède une masse et est composé de petits tourbillons d'un ordre inférieur, est plus grand que ceux de l'éther sans masse de son ordre, et donc possède *a priori* moins de force centrifuge. Malgré tout, la masse qu'il porte compense cette moindre force et, finalement, il équilibre des tourbillons d'éther de son ordre.
- 2 Molières [1737], Leçon X, Proposition I, p. 4-7. Ainsi, fermenter, « c'est lorsque deux liqueurs qu'on mêle s'échauffent, bouillonnent, & forment à la fin une matiere sèche qui se précipite au fond du vase ».
- 3 *Ibid.*, Proposition III, p. 29. Molières donne les procédures expérimentales pour obtenir l'« *Esprit de sel* » (acide chlorhydrique) à partir du « sel commun ». Puis, il note que si « on n'a pû obtenir par aucun moyen l'alkali dont on juge que le sel commun est composé », il est cependant possible de former du « *sel marin regeneré* » par évaporation et cristallisation d'un mélange provoquant une « fermentation » entre le « sel alkali de tartre » dissout dans de l'eau chaude avec de « l'esprit de sel », dernière expérience justifiant que ce sel marin soit « un composé d'Acides & d'Alkalis » (p. 29-32). Parmi les expériences de décomposition ou régénération des sels visant à établir les mêmes conclusions mentionnons le salpêtre à partir duquel s'obtiennent « l'*Esprit de nitre* » et « le *Sel alkali du nitre fixé par le charbon* » ; inversement, le mélange d'une dissolution dans l'eau chaude de « *Sel alkali, de nitre ou de tarte* » avec de « l'esprit de nitre » versé goutte à goutte provoque « une grande fermentation », et le résultat porté à ébullition « jusqu'à pellicule » puis subissant une cristallisation fournit « une vrai Nitre regeneré » (voir p. 32-34). Les autres expériences portent sur le

confirme « la fabrique des Sels artificiels »¹. Puis les opérations entre les sels acides et les huiles formant avec la terre des « Bitumes » dont le « pétrole », le « Soufre commun » et l'« Ambre jaune » sont des exemples². Enfin, le fait qu'avec le fer et d'autres métaux peuvent se composer « des especes de sels, qu'on nomme Vitrioliques »³.

Au terme de ce résumé de protocoles expérimentaux, de modes opératoires soit, finalement, de savoir-faire de la chimie entendue comme « art »⁴, Molières invite à consulter sur « les Mémoires de l'Académie, Lemery, Boerhave, Stall [Stahl] &c. » dont il a « tiré » ces différentes opérations⁵, avant de livrer son « explication de tant d'effets merveilleux » par l'usage du « Mécanisme [...] qui est sans comparaison plus réel, plus évident, plus fécond & plus simple que celui qu'on a employé jusqu'à présent »⁶. L'« Architecture fine & délicate » des principes précédemment évoqués permet de rendre compte des opérations chimiques qui reposent sur des ruptures d'équilibre de petits tourbillons ; ce procédé accordant une primauté au mouvement circulaire assure une économie de principes et rend caduque des explications fondées sur un mécanisme attribuant aux corps des figures particulières ou bien sur l'usage de forces à distance. Les interlocuteurs de Molières sont en effet les « Chimistes Cartésiens » et les « Newtoniens ».

Les premiers ont « négligé l'étude de ces loix [des Mécaniques], & les ont [...] peu suivies dans l'explication [des] effets » consécutifs aux mélanges de réactifs ; les « figures » qu'ils attribuent aux acides et aux alkalis et les réactions entre ces réactifs illustrent ces deux points. Le rejet des figures ressortit à la même critique générale à l'encontre de corpuscules dont les formes reposent sur des « loix » infondées, ainsi de la force du corps au repos ou plus généralement des lois du choc. Suivant ces « Chimistes », les acides, « petits corps durs longs & pointus », entrent « avec effort » dans les alkalis, « des especes de fourreaux, des guaines, des éponges », et lors du mélange de deux solutions qu'ils composent « de cela seulement que chacune de ces petites pointes entre dans son fourreau, ou en sort, il doit s'exciter [...] un si grand fracas qu'elle [la liqueur résultante] s'échauffera, bouillira & se rarifiera »⁷. Molières

« *Sel ammoniac* » (p. 36-38), les « Vitriols » identifiés à « un composé d'acides & de molécules de fer, de cuivre & de terre qui y tiennent lieux d'Alkalis », voir p. 38-42.

- 1 *Ibid.*, Proposition IV, p. 46-58. Ainsi du « *Sel sédatif* de M. Homberg » (acide borique) dont Molières rappelle le protocole de fabrication établi par Geoffroy en 1732 à partir de borax dissout dans l'eau chaude et d'acide de vitriol (acide sulfurique) concentré, *ibid.*, p. 55-56. Voir Claude Joseph Geoffroy, *Nouvelles Expériences sur le Borax, avec un moyen facile de faire le Sel Sédatif, & d'avoir un Sel de Glauber, par la même opération*, MARS 1732 (1735), p. 398-418.
- 2 Molières [1737], Leçon X, Proposition V, p. 58-73. Ainsi, le caractère inflammable du soufre justifie qu'il se compose « de molécules d'huile qui y tiennent lieu d'alkali », pour les raisons d'inflammabilité de l'huile évoquées précédemment, et la possibilité de produire de l'« *Esprit de soufre*, nullement inflammable, & qui ne diffère en rien de l'acide du vitriol » témoigne qu'il se compose de sels acides, voir p. 60-61.
- 3 Molières [1737], Leçon X, Proposition V, p. 73-89. Ainsi, le « *vitriol de Mars* » (sulfate de fer II) s'obtient en versant dans « une poêle de fer bien nette un poids égal d'esprit de vin & d'acide de vitriol », la réaction (l'oxydation du fer en présence d'éthanol et d'acide sulfurique) rongant le fer et produisant une liqueur verte (solution d'ions fer II), voir p. 74-75.
- 4 Joly, *Descartes et la chimie*, p. 209-210 note qu'avec ce résumé « on a le sentiment [...] d'avoir entre les mains l'un de ces « cours de chymie » qui fleurissaient au milieu du XVII^e siècle ».
- 5 Molières [1737], Leçon X, Proposition V, p. 111. Les descriptions des instruments, des procédés (filtration etc.), la définition de termes spécifiques et le détail de réactions examinées par Molières se rencontrent notamment chez Lémery, *Cours de Chymie*, Boerhaave, *Elementa Chimiæ*, ou encore dans le *Nouveau cours de chymie*.
- 6 Molières [1737], Leçon X, Proposition V, p. 111-112.
- 7 *Ibid.*, Leçon XI, Proposition II, p. 128-130. Quelques pages auparavant, Molières évoque « Boile, Homberg, Lémery & tant d'autres qui [...] ont plus contribué au progrès de la Chimie que ceux qui se sont contentés de faire des expériences, & de les décrire, sans tâcher d'en approfondir le mécanisme », *ibid.*, Proposition I, p. 122-123. Sur l'usage de ces « pointes » et ces « guaines » et la « grande ébullition & effervescence » lors de de mélanges acides-alkalis, leurs fonctions dans les dissolutions, voir Homberg, *Essais de chymie*, MARS 1702 (1743), p. 33-52 ; Homberg, *Mémoire touchant les Acides & les Alkalis, pour servir d'addition à l'article du Sel principe, imprimé dans nos Mémoires de l'année 1702. pag. 36.*, MARS 1708 (1730), p. 321-322 ; N. Lémery, *Cours de Chymie*, p. 9-10 ; Louis Lémery, *Mémoire sur les Précipitations Chimiques [...]*, MARS 1716 (1718), p. 162. Concernant la chimie de Boyle et Homberg non réductible au seul mécanisme, voir l'introduction de ce chapitre. Remarquons que l'interprétation mécaniste des acides et alkalis rencontrée chez Lémery (père et fils) n'apparaît pas chez Descartes, voir Joly, « L'anti-newtonianisme dans la

ironise sur cette explication : que cet effet provienne de ce que les « petites pointes dures & inflexibles entrent & sortent chacune de l'étui qui les contenoit [...] c'est vouloir qu'un chariot pesamment chargé, attelé à six mouches, aille à force de crier »¹.

Molières suggère qu'au lieu « d'augmenter à un tel excès le mouvement des parties de la liqueur les unes à l'égard des autres », de tels emboitements devraient le « diminuer considérablement, ou plutôt le détruire subitement, à cause de la prodigieuse quantité de frottemens qui en naîtroient » (*ibid.*, p. 131). Par ailleurs, toujours sur le versant d'une incompatibilité avec la mécanique, Molières prend l'exemple du sel marin que le feu ne peut pas décomposer : les « chimistes » attribuent cette impossibilité aux « acides » formés par les « pointes dures & inflexibles de ce sel, [qui] étoient comme cloüées & rivées dans leurs guaines », autrement dit dans leurs alkalis². Or, selon ces mêmes savants, les « acides du Vitriol » réagissent avec le sel marin : ils communiqueraient donc avec « furie » aux acides du sel un mouvement permettant de les chasser de leurs « guaines » pour venir occuper leur place, ceci devant rendre compte de la réaction violente se produisant lors du mélange. Molières feint de demander « par quelle loi des Mécaniques » le feu, dont le mouvement est grand ne pourrait pas produire ce que les « pointes » acides du vitriol peuvent alors même qu'avant la réaction « [elles] se tenoient tranquilles dans les pores de l'eau qui les contient » ne pouvant acquérir d'autre mouvement que celui que les parties de cette eau lui donne, lesquelles sont moins mobiles que celles du feu. Il ajoute qu'« un corps dur, quelque grand & pesant qu'il soit » venant à choquer un autre « quelque petit & léger qu'il puisse être » ne lui donne pas une vitesse supérieure à celle qu'il possède, « une vitesse comme infinie », comme devrait être celle des acides du sel marin sortant de leurs alkalis sous l'action des acides du vitriol tant la réaction de « fermentation » paraît vive : « cela est contraire à toutes les expériences faites sur le choc ». Molières ironise à nouveau en faisant des « acides du vitriol » des « ouvriers très-adroits & très-clairvoyants » car capable de chasser « les acides du sel marin de leurs alkalis », opération supposant « trop d'intelligence, trop de justesse pour pouvoir être exécutée par des corps destitués d'organes ». Il écrit aussi qu'une « cheville » qu'elle que soit sa vitesse ne peut en chasser une autre du trou où elle se trouve étroitement engagée lorsque le trou peut se mouvoir avec la cheville ; même si cela était, la cheville chassée ne peut pas avoir plus de vitesse que celle qu'elle chasse (*ibid.*, p. 131-135)³.

Ainsi, Molières n'estime pas bien connus les mécanismes de « dissolution » et « le combat des acides & des alkalis », mais il met aussi dos à dos les « Chimistes Cartésiens » et les « Neutoniens » qui pour leur part recourent à des « attractions »⁴. Lorsqu'il s'agit de rendre compte de la manière dont le sel de tartre (carbonate de potassium) se charge en eau au contact de l'air⁵, Molières conclut son explication en précisant bien ne pas « avoir recours ici à un autre principe qu'à celui de l'impulsion » critiquant la recherche de ce phénomène basée sur ce « grand mot d'Attraction qui étonne : mais qui n'éclaire point »⁶. Ainsi, pour cette

chimie française », p. 215-216. Pour Descartes, les corpuscules « roides & inflexibles » de l'eau composent les sels qui ont originellement (lors de la création du monde) des « formes longues & menuës ainsi que des joncs ou des bastons », Descartes, *Principes*, IV, AT IX, art. 33, 36 et 48 p. 217-218, p. 219-220, p. 227. Ces corpuscules circulent vers l'intérieur et l'extérieur de la croûte terrestre et par ces mouvements subissent des déformations, ils s'« aiguisent », se « polissent », ces parties deviennent « tranchantes & pointuës » et « prennent la forme de certains suc... aigres & corrosifs » qui composent du « vitriol, de l'alun ou d'autres minéraux, selon qu'ils se meslent, en se congelant, avec des métaux ou des pierres ou d'autres matières ». Pour un examen de la formation des corps à l'intérieur de la terre et l'approche « cosmogonique de la chimie » chez Descartes, voir Joly, *Descartes et la chimie*, p. 93-120, et p. 72-73.

1 Molières [1737], Leçon XI, Proposition II, p. 130-131.

2 Nous verrons l'explication donnée par Molières dans « Acides, alkalis et mécanisme des dissolutions » ci-dessous.

3 L. Lémery, *Mémoire sur les Précipitations Chimiques*, p. 62 recourt à une image semblable pour rendre compte de précipitations en chimie.

4 Molières [1736], Leçon IX, Proposition VIII, p. 413-419.

5 Nous reviendrons dans ce chapitre sur l'explication de l'hydratation du sel de tarte par Molières (« Acides, alkalis et mécanisme des dissolutions ») et par Béraud (au sujet de la calcination des métaux).

6 Molières [1737], Leçon XI, Proposition IV, p. 149.

réaction, Newton évoque « une attraction entre les particules du Sel de Tartre, & les particules de l'eau qui flottent dans l'air »¹. Aux attractions ou répulsions rendant compte des dissolutions de sels dans l'eau, des réactions entre acides et métaux ou impliquant des acides et des alkalis², au « magnétisme qu'on doit regarder comme l'agent universel dont les loix règlent toute la nature »³, Molières oppose le seul mécanisme et, plus précisément, les ruptures d'équilibre de petits tourbillons, ruptures qu'il nomme « ciseau universel », les réactions chimiques devant être « une conséquence directe du mouvement circulaire »⁴.

Acides, alkalis et mécanisme des dissolutions

Le « mouvement intestin puissant » et la « grande fluidité » des « eaux fortes », de l'« esprit de sel » etc., même aux plus grands froids, persuadent que leurs « molécules » constitutives correspondent à des petits tourbillons. Par ailleurs, les « acides » ou « particules » de ces solutions se dispersent « uniformément dans tout le volume de la liqueur » qui est plus ou moins « forte » selon le volume d'eau qu'elle contient : ceci permet de conclure que « les acides sont de petits tourbillons contenus dans les pores de l'eau, ou dans ces intervalles étroits que les petits tourbillons de l'eau laissent entr'eux »⁵. Ces tourbillons d'acides sont ainsi plus petits que ceux de l'eau, donc « beaucoup inférieur en grandeur à ceux du second élément, & par conséquent [...] guère plus grands que ceux du premier élément, avec lesquels ils feront équilibre ». Pour « ne pas multiplier ici les principes sans nécessité », Molières les suppose de « grandeur » et « structure » semblables à ceux de l'huile, et les eaux fortes ne diffèrent des eaux communes qu'en ce que leurs pores sont « remplis de molécules acides, c'est-à-dire de petits tourbillons du premier élément composés d'autres tourbillons encore plus petits qui ont chacun un globule dur à leur centre ». Cette structure pourrait correspondre aux tourbillons d'huile mais les acides en diffèrent en ce qu'ils se composent de corpuscules « plus denses & plus pesants » (*ibid.*, p. 142-143)⁶. Cette différence justifie qu'à volumes égaux une eau forte pèse plus que l'huile ou l'eau commune ; que ces eaux ne gèlent que très difficilement, car outre que leurs tourbillons acides contiennent peu de ces globules durs, ces globules conservent d'autant plus leur mouvement circulaire qu'ils pèsent davantage⁷ ; fins et déliés, denses et pesants, les globules entraînés dans un mouvement circulaire « auront aussi tout le mouvement & toute la solidité convenable pour exciter dans l'organe du goût les saveurs piquantes que nous éprouvons à leur approche » (*ibid.*, p. 143-144). Molières conçoit les alkalis comme « un amas de ces globules durs que les acides contiennent [...] dégagés de leurs tourbillons par la violence du feu » (*ibid.*, p. 145)⁸. Keranflech reconduit ces compositions en concevant les alkalis comme « des matières qui ne sont pas en tourbillons, & qui sont propres à être emportées ou

1 Newton, *Traité d'optique*, Question XXXI, p. 536. Voir aussi *Nouveau cours de chymie*, p. 196. Sur l'évocation d'une « force attractrice » pour ce phénomène, voir Boerhaave, *Elementa chemiæ*, t. I, p. 467-468.

2 Pour ces opérations chimiques basées sur des attractions et des répulsions, voir notamment Newton *Traité d'optique*, Question XXXI, p. 537-538, p. 553-554, p. 565-566. *Nouveau cours de chymie*, p. 194-195 p. 200-203, p. 204-209, p. 209. Boerhaave, *Elementa chemiæ*, t. I, p. 683-694, p. 786-790.

3 *Nouveau cours de chymie*, p. 194. « Magnétisme » est ici pris pour synonyme d'attraction.

4 Molières [1737], Leçon XI, Proposition II, p. 139-140.

5 *Ibid.*, Proposition III, p. 140-142.

6 L'énoncé de cette Proposition III mentionne aussi une plus grande dureté de ces corpuscules.

7 *A contrario*, le gèle est d'autant plus favorisé que le nombre de globules est important, la mobilité/fluidité s'en voyant réduite. Par ailleurs, l'explication du phénomène du gèle impose que ces tourbillons devraient sortir des pores de l'eau en donnant naissance à de l'air, ce qu'interdit la « lourdeur des masses » qu'ils transportent. Voir la fin de ce chapitre pour l'explication du gèle.

8 « Le feu [...] détruit toutes les liaisons que ces parties [les globules durs] pouvoient avoir entr'elles, tous les petits tourbillons dans lesquelles elles étoient contenuës » ; ces corpuscules « doivent être d'une subtilité qui surpasse comme infiniment celle des molécules des autres sels qui [...] sont composés d'un grand nombre de ces globules ». Molières [1737], Leçon XI, Proposition VIII, p. 186.

entraînées par les acides », lesquels « sont de petits tourbillons » ; cette différence de mobilité rend compte des « principes actifs & passifs, que tous les Chymistes ont a la bouche, mais dont tous les Chymistes n'ont pas des idées nettes »¹.

Ces structures permettent à Molières de rendre compte de l'action des eaux fortes sur les métaux lesquels sont définis comme des corps « composé[s] de plusieurs pores de différente espece, les uns beaucoup plus petits que les autres [...] remplis de molécules d'huile plus ou moins développées, selon qu'elles sont contenuës dans des pores métalliques plus ou moins grands »². Partant du constat que les « chaux métalliques » (oxydes de fer obtenus par calcination) « ne fermentent plus avec les acides », et que la calcination « dépouille » du métal ses molécules d'huile³, ces dernières sont donc « la matière la plus essentielle » à l'action des eaux fortes⁴. Cette action se conçoit en effet par un déséquilibre entre les molécules d'huiles « contenuës dans les pores du métal [...] qui ont plus de force centrifuge » que celles contenues dans les eaux fortes, une différence de forces qui résulte de la taille des pores du métal dont la petitesse suggère des tourbillons d'huile de moindre diamètre et possédant ainsi davantage de force centrifuge. A cause de cette différence de forces et donc de ce déséquilibre, les tourbillons d'huile dans le métal plongé dans la solution s'agrandissent alors au dépens de ceux dans les pores de la solution acide, ils « soulevent les particules solides du métal, & les détachent les unes des autres », leur agrandissement impliquant une perte de leurs forces centrifuges afin que le mélange de tourbillons d'huiles retrouve l'équilibre. Il s'ensuit que les « petits tourbillons acides sont en état de les [particules solides] enlever par leur mouvement circulaire » et de les entraîner dans toute la liqueur (*ibid.*, p. 259-260). Selon Molières, ce mécanisme pour ces opérations qu'il nomme « dissolutions » justifie que « l'esprit de nitre » (acide nitrique) puisse dissoudre l'argent mais que lorsqu'il « est trop rectifié » il demeure sans action sur ce métal car dans cet état les molécules d'huile que contient cette solution « étant plus entassées les unes sur les autres, sont devenuës plus petites, & par conséquent ou égales ou moindres que celles qui sont contenuës dans les premiers pores du métal » : ainsi, « ou elles se feront équilibre avec [ces tourbillons dans les pores] : ou elles perdront de leur volume » mais, dans tous les cas, elles seront incapables d'agir (*ibid.*, p. 260-262). Ceci explique aussi que « l'esprit de sel » (acide chlorhydrique) ne dissolve pas l'argent : les molécules d'huiles de ces réactifs sont égales ou celles de l'esprit de sel sont plus petites (*ibid.*, p. 262).

Keranflech use d'un mécanisme semblable pour expliquer la dissolution des métaux ou des minéraux : les différences de forces centrifuges entre les tourbillons de même ordre de ces corps et ceux des liqueurs entraînent un déséquilibre à la base de la réaction. Ainsi, les liqueurs dissolvent de deux manières. Soit par la « solidité » des globules entraînés par les tourbillons de la liqueur qui viennent heurter les parois des pores d'un métal où ils s'insinuent et qu'ils obligent à s'écarter. Soit « parce que les liqueurs peuvent occasionner l'agrandissement des petits tourbillons de leur ordre qui sont contenus dans les métaux, ou minéraux, qu'on veut dissoudre. Ces petits tourbillons agrandis soulèvent les parties de ces corps &c. »⁵ Keranflech précise que les corps à dissoudre appartiennent à différents ordre de tourbillons, c'est-à-dire qu'ils se composent de globules durs issus de tourbillons de différents ordres et, dès lors, la dissolution requiert une liqueur « d'un ordre compétent » (*ibid.*, p. 116-117). Ainsi, « quand un sel se dissout dans l'eau, ce n'est pas l'eau proprement qui le dissout. C'est un liquide subalterne de l'eau, de l'ordre de ce sel : parce que les tourbillons de ce

1 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 103.

2 Molières [1737], Leçon XI, Proposition XIV, p. 251. La dernière partie de ce chapitre revient sur la nature des métaux selon Molières.

3 S'il restait des molécules d'huile dans un métal calciné, il pourrait être davantage calciné étant donné que le feu agit par l'intermédiaire de ces molécules d'huile comme nous le verrons dans ce chapitre dans la section sur les théories du feu.

4 *Ibid.*, Proposition XV, p. 258-259.

5 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 116.

liquide sont actuellement plus grands que ceux du sel ; ce qui fait que ceux-ci s'en agrandissent » et détruisent ainsi le corps, (*ibid.*, p. 119). Un « liquide subalterne » consiste en un amas de tourbillons plus petits que ceux de l'eau qui résident dans les interstices des tourbillons de l'eau (*ibid.*, p. 87-88).

Pour Molières ce type d'explication s'étend à tous les sels car

la fermentation ne commence jamais que par la rupture d'équilibre entre les molécules d'huile contenues dans la matière à dissoudre, & de l'huile contenue dans la matière du dissolvant, lesquelles doivent être plus grandes, ou avoir moins de force centrifuge que les premiers. Car c'est là le ciseau universel qui sépare & divise la matière alcaline qui doit être enlevée par les acides¹.

Molières prend notamment l'exemple de la réaction entre « l'esprit du sel marin, ou du vitriol, versé sur du sel alkali de tartre, ou sur du fer » : les molécules d'huile du sel de tartre plus petites que celles contenues dans les acides « s'étendent aux dépens de ces dernières [...] soulèvent & [...] divisent les particules alkalis du tartre que les acides enlèvent ensuite avec facilité par leurs mouvements circulaires ; tandis que les molécules de l'huile, se transformant en air, excitent dans la liqueur le trouble, l'effervescence & l'ébullition qu'on y remarque »².

Molières évoque aussi l'action effervescente de l'esprit de sel (acide chlorhydrique) sur du sel alkali de tartre dissout dans l'eau (solution de carbonate de potassium). Les tourbillons (du premier élément) de l'esprit de sel entraînent « facilement par leur mouvement circulaire beaucoup plus prompt & plus puissant que n'est celui de l'eau, toute cette poussière alcaline qui environnoit les molécules de l'eau » ; ils se chargent alors de cette « poudre très-fine, mêlée & comme pétrie avec les molécules d'huile que le sel alkali contient toujours dans ses pores », poudre qui forme « sur la superficie des petits tourbillons du sel acide, une croûte ou pellicule dure ; & [transforme] chacun de ces petits tourbillons, dont l'esprit de sel est composé en autant de molécules solides ». Ces enveloppes, sous lesquelles ces tourbillons conservent leurs mouvements circulaires, se « joignent les unes aux autres dans les pores de l'eau » et lorsque le volume de cette dernière diminue sous l'action du feu on obtient le « sel marin régénéré » (chlorate de potassium) dont la « consistance » solide procède de sa compression par des molécules du premier élément. Durant cette opération de régénération du sel marin, l'acide versé provoque « des secousses fréquentes » sur les tourbillons d'huile dissouts de la solution de sel alkali de tartre³, et puisque ces tourbillons « sont l'intermédiaire par lequel le mouvement du premier élément, de l'élément feu, se communique aux parties plus grossières de la matière », ces « molécules d'huile [...] ne manqueront pas d'exciter des vibrations dans l'éther, d'échauffer par conséquent tout le mélange, & de produire mécaniquement cette effervescence » observée. Par ailleurs, les molécules d'huiles les plus « développées » (agrandies) et qui continuent « toujours à être secouées par l'action violente des acides du sel marin » rompent l'équilibre avec « les molécules du premier élément de l'éther », formeront des « tourbillons du second & du troisième élément » et se transformeront alors en air en produisant « l'ébullition & les vapeurs qui sortent de la solution »⁴. Les « molécules » de sel marin sont donc des acides enveloppés de croûtes composés d'alkali et de tourbillons d'huiles qui ne se sont pas « développés » à l'air ; croûtes, dont « la consistance sera à l'épreuve de l'action même du feu le plus violent » puisque « l'adhérence » de ses parties vient de la compression de « la force élastique des molécules du premier élément qui est la plus grande qui soit dans la matière »⁵. Cette cohésion explique la résistance au feu du

1 Molières [1737], Leçon XI, Proposition XIV, p. 277.

2 *Ibid.*, p. 277-278.

3 La solution est obtenue par la dissolution dans l'eau du sel alkali de tartre, et des molécules d'huiles contenues dans ce sel se dispersent alors dans les pores de l'eau.

4 Voir dans la partie ci-dessus relative aux « principes » la section dévolue à l'huile pour l'explication de cette transformation.

5 *Ibid.*, Proposition XII, p. 226-231. Pour l'action du feu sur les molécules d'huile, voir ci-dessous dans ce Chapitre.

sel sans ce recours aux « pointes », « guaines », « branches » et « tout le reste de l'attirail dont les chimistes dont usage » que font intervenir les « cartésiens »¹.

La « vertu dissolvante de l'Eau » résulte de sa « construction » et s'explique mécaniquement par des mouvements circulaires². Il s'agit tout d'abord de ne pas « multiplier les principes sans nécessité » soit de n'attribuer aux molécules du sel qu'une « figure sphérique, qui est une suite si immédiate du mouvement circulaire », une pesanteur et une densité plus grande que celles des molécules d'eau et une taille plus petite (*ibid.*, p. 420)³. Qu'on place un « Grain de sel » dans l'eau, selon Molières les petits tourbillons de celle-ci s'insinuent dans ses « pores » et, « semblables à de petits forêts qui tournent sans cesse », ils détachent les molécules du sel les unes des autres. Ces dernières se voient alors entraînées autour des superficies des tourbillons d'eau qui, animés de mouvements circulaires et se touchant mutuellement, transportent des parties du sel « dans tous les intervalles que les petits tourbillons laissent entre eux ». A mesure que les tourbillons d'eau se chargent, leurs mouvements s'affaiblissent et s'ensuit une rupture de leur équilibre avec les tourbillons d'huile qui sont dans leurs pores ; ceux-ci se transforment alors en air et s'échappent sous la forme de ces bulles qui apparaissent dans les dissolutions, et les particules de sel viennent alors occuper leur place dans les pores de l'eau. Le départ de tourbillons d'huile entraîne une perte de chaleur (fait observable lors d'une dissolution) car il n'existe alors plus ces corpuscules sur lesquels s'appuie le premier élément (le feu) pour communiquer son mouvement à l'eau ; puis l'eau se charge de sel plus lourd que l'huile ce qui retarde sa « circulation », facteur rendant aussi compte de la baisse de chaleur. Ce sel se répand avec « uniformité » dans « toute l'étendue de l'eau » car si un tourbillon se charge plus qu'un autre, il s'agrandit, circule moins vite et sa force centrifuge diminue rompant ainsi l'équilibre du milieu ; les tourbillons voisins s'agrandissent alors et lui enlèvent la quantité surabondante de particules réinstaurant ainsi l'équilibre. Par ailleurs, « la force des petits tourbillons de l'eau [...] étant bornée », ils ne pourront pas se charger au-delà d'une certaine limite et, ainsi, l'eau ne peut dissoudre qu'une certaine quantité de sel. Cette dissolution augmente cependant si on chauffe l'eau car ses parties « circulent avec plus de vitesse ». Mais qu'on la laisse refroidir, ces mouvements diminuent en même temps que le volume et la superficie des molécules d'eau : les molécules de sels, « ne pouvant plus être soutenues par le mouvement qui reste aux molécules de l'eau » retombent au fond du récipient ; une eau qui est « prête à se geler » ne contient en général plus de sels (*ibid.*, p. 421-430)⁴. Les molécules des sels « peuvent être plus ou moins solide » entraînant d'une espèce à l'autre des différences de dissolution (*ibid.*, p. 431). Enfin, les molécules de sel contiennent aussi des molécules d'huile et, lors de la dissolution, l'eau entraîne ces dernières et les parties des sels, les unes et les autres empêchant alors que les molécules d'eau « s'applatissent » mutuellement et facilitant leur libre circulation, ce qui rend la congélation plus difficile (*ibid.*, p. 431-433)⁵.

Le mécanisme ici exposé permet de rendre compte de la façon dont le sel de tartre exposé à l'air libre peut se charger si abondamment d'eau au point de donner une solution. Tout d'abord, et ce de la même façon que la description donnée ci-dessus, « l'eau se répand dans l'air à peu près de la même façon [...] que le sel se dissout dans l'eau », et ainsi les

1 *Ibid.*, p. 239-240. Molières critique les « chimistes » qui attribuent cette résistance aux « acides » du sel formés par les « pointes dures & inflexibles » qui sont « comme clouées & rivées dans leurs guaines » (des alkalis). Molières [1737], Leçon XI, Proposition II, p. 131-135.

2 Molières [1736], Leçon IX, Proposition VIII, p. 419.

3 Tout en précisant que des sels différents possèdent des particules de densité, pesanteur, taille et polissages différents.

4 Inversement, lors d'une évaporation, le nombre de molécules d'eau diminue et celles du sel qu'elles retenaient, et qui ne peuvent se dissiper à cause de leur pesanteur, demeurent dans l'eau restante sans y être « soutenues » : elles tombent alors au fond du vase.

5 Un « froid extrême » entraîne une moindre mobilité des tourbillons d'eau et donc un déséquilibre avec les tourbillons d'huile. Le sel se détache alors de l'eau et tombe au fond du vase, les molécules d'huile s'agrandissent et se transforment en air, et l'eau finit par geler.

tourbillons d'air entraînent autour d'eux et dans leurs pores de l'eau, de l'huile, des sels etc. qui se dispersent de manière uniforme dans ce milieu. Au niveau de la « lame d'air » au contact du sel de tartre, les tourbillons d'eau « qui touchent aussi la même superficie du sel » se chargent de molécules de ce sel et, devenant alors plus pesantes, les tourbillons d'air ne les portent plus et des gouttes d'eau se détachent et tombent dans le récipient contenant le tartre. A mesure que cette « lame d'air » se décharge de ses gouttes d'eau, elle reçoit de nouvelles molécules d'eau provenant des tourbillons voisins d'air, et ce du fait des mouvements circulaires de ceux-ci qui contribuent à rendre uniforme le milieu et « à répandre uniformément dans toute l'étendue du milieu, les gouttes d'eau » selon le mécanisme expliqué ci-dessus pour la dissolution. La « lame » se décharge alors à nouveau de gouttes d'eau en contact avec le sel etc. Ce mécanisme ne fait donc pas appel à « une vertu attractive [des molécules du sel], si forte à l'égard de l'eau, qu'elle étoit capable d'amener ses molécules des lieux les plus reculés »¹.

Le mouvement circulaire et l'équilibre des milieux

Les structures des principes justifient « toutes les singularités » rencontrées pour une opération chimique donnée. Ainsi, toutes « les circonstances » rencontrées dans « les différentes fermentations » résultent de la plus ou moins grande dureté, densité, du polissage des « Terre[s] & Alkali[s] » par ailleurs entremêlées de molécules d'huile de différentes grandeurs ; elles résultent de l'éther, de l'air, de l'eau, de l'huile et des acides qui « sont des amas de petits tourbillons de divers genres » séparant et entraînant « ces particules terreuses & alkales en plus grande ou moindre quantité »².

Ces structures expliquent les fermentations et les dissolutions (voir ci-dessus) et rendent aussi compte des distillations. Ainsi, Molières imagine qu'une cornue reliée à un récipient et mise dans un fourneau contient un mixte à distiller. Les tourbillons du troisième élément de l'air contenus dans la cornue doivent s'agrandir sous l'action du feu ce qu'ils ne peuvent faire étant limités par l'espace de la cornue ; ils emploient alors ce mouvement à circuler « avec une plus grande vitesse qu'à l'ordinaire ; ce qui augmentera considérablement [leur] vertu dissolvante ». Les molécules d'eau contenues dans le mixte « seront les premières à recevoir l'action dissolvante de l'air » : l'air les entraîne dans ses pores, elles s'agrandissent alors et passent de la cornue au récipient récepteur où elles trouvent « un air plus temperé qui ne peut plus les soutenir » et qui « les laissera tomber au fond de ce vase », car cet air étant moins chaud il possède moins de force et ne peut pas les équilibrer. Les molécules d'huile environnent un grand nombre de molécules d'eau encore dans le mixte, ce qui rend ces molécules d'eau plus pesantes que celles déjà évacuées, et elles ne montent dans l'air « qu'à l'aide d'un plus grand degré de chaleur ou de mouvement excité dans ce même air par un feu plus violent ». Enfin, les molécules de sel « encore plus pesantes que celles d'huile ne monteront que les dernières ; laissant au fond de la cornue les molécules de sel & de terre qui n'auront pu être divisées par cet agent, par cet air circulant, dont la force ne peut être augmentée que jusqu'à un certain point ». Par ailleurs, le fait que les molécules d'huiles qui se trouvent dans la solution « soient très-condensées ; qu'elles n'occupent qu'un très-petit espace ; ce qui les rend trop pesantes [elles s'équilibrent par de grandes forces centrifuges] pour être aussi-tôt enlevées par la vertu dissolvante de l'air » justifie que l'eau « monte la première ». En somme, chauffer l'air augmente sa « force élastique » ce qui lui permet d'emporter des « molécules » selon un ordre croissant de leurs pesanteurs³.

1 Molières [1737], Leçon XI, Proposition IV, p. 146-153.

2 Molières [1737], Leçon XII, Proposition XII, p. 236-237.

3 *Ibid.*, Proposition XI, p. 220-224.

Molières conteste les interprétations que donnent les « Neutoniens » des fermentations, des dissolutions ou encore des distillations¹. Il critique aussi les « Chimistes Cartésiens » et s'appuie sur la réforme de Malebranche de la force de repos conduisant à ne bâtir la physique que sur le seul mouvement, mouvement nécessairement circulaire puisque seuls les petits tourbillons assurent la conservation du mouvement dans l'univers, circularité qui implique aussi une figure sphérique pour tous les corpuscules. Molières écrit alors qu'

on ne trouvera pas mauvais qu'au lieu de remplir le monde de je ne sçai combien de figures bizarres, à qui on ne donne aucune origine certaine, nous les réduisons toutes à la figure sphérique ; car il est toujours bon d'aller au rabais des suppositions ; Et que nous substituions par tout le mouvement circulaire [...] qui produit ces sphères [les globules durs] d'une façon si simple ; à la place de tous ces mouvemens confus dont on a fait usage jusqu'à présent, & par le moyen desquels on ne nous a pû donner que des notions très-superficielles des effets que l'on a entrepris de nous expliquer mécaniquement².

Il s'agit ainsi de « transporter » à la chimie « le mécanisme que nous sommes comme forcés d'admettre dans le tourbillon solaire », et Molières écrit n'avoir « proposé autre chose dans la structure de ces éléments que ce que nos yeux voyent à découvert dans le système de Jupiter & de Saturne ». Il revendique d'autant plus ce droit que les chimistes introduisent « la mécanique des coins, des leviers » et imaginent « des pointes, des guaines »³. Il ne recourt pour sa part qu'à des « mouvemens circulaires de petits corps autour d'un centre » et à « une structure par tout informe » : en effet, tous les « élémens se ressemblent, ils ne diffèrent entr'eux que du petit au grand [...] Toutes ces molécules ne sont en général que *des petits tourbillons composés d'autres petits tourbillons, qui ont à leur centre un globule dur & pesant* ». Seules les tailles respectives des molécules diffèrent et, par exemple, celles de l'huile sont différentes de celles des sels par les « masses dures » qu'elles transportent qui sont « moins denses & moins pensantes » que celles que les sels entraînent. Un tel mécanisme « est rendu sensible & comme démontré aux yeux dans les mouvemens celestes, & la matiere étant divisible à l'infini, on ne peut refuser d'accorder aux petits tourbillons les mêmes attributs que l'on voit exister dans les grands ». Malgré le « nombre prodigieux des frottemens » du milieu, le mouvement circulaire perdure car ces tourbillons élémentaires reçoivent « sans cesse du mouvement des petits tourbillons de l'éther qui remplissent tout l'univers, & qui contiennent en eux-mêmes une quantité de mouvement inépuisable » : que leurs mouvements diminuent, « ils en reçoivent de ceux de la même espece, qui composent la matiere étherée avec lesquels ils font équilibre »⁴.

Ce mouvement permet de redéfinir les notions d'activité et de passivité de la matière. La classification opérée par Molières (air, eau, huile, sels acides comme principes actifs ; terre, sels alkalis) se résume finalement en deux grands groupes, l'éther actif par sa mobilité, la terre passive car sans mouvement. La terre compose alors les corpuscules et s'apparente à un amas de la matière originelle conglomérée par les forces centrifuges des petits tourbillons ; l'eau, l'huile, les sels acides ne sont actifs qu'en tant que les petits tourbillons véhiculent cet amas. Ainsi, les activités du soufre-principe de Homberg et des acides de Newton se voient réduites

1 Nous avons souligné ces critiques à l'encontre des fermentations et des dissolutions. L'auteur du *Nouveau cours*, p. 168-175 explique la diversité dans les distillations de liqueurs notamment par l'« impulsion » des « corpuscules ignez » (le feu) qui produit des effets différents selon les pesanteurs spécifiques des produits distillés : une substance mélangée à l'eau et plus légère qu'elle sera distillée en premier. Ces effets sont ainsi produits par des « corpuscules ignés » auxquels, écrit Molières lorsque justement il explique l'opération de distillation, on attribue « un très-grand mouvement que ces corps ne perdoient jamais, & qui les rendoient capables de produire un grand nombre d'effets très-remarquables, sans dire comment », qualifiant cette matière « ignée » de « qualité occulte », Molières [1737], Leçon XII, Proposition XI, p. 217. Voir ci-dessous la théorie du feu de Molières.

2 Molières [1736], Leçon VI, Proposition V, p 31-32.

3 Molières [1737], Leçon XII, Proposition IX, p. 204.

4 *Ibid.*, p. 205-207.

en une simple matière terreuse capable d'agir par le biais du mouvement¹. Molières dénie à la chimie une quelconque autonomie, la soumettant aux lois mécaniques de l'équilibre. Il s'agit alors d'effacer la singularité que peut avoir cette science en l'englobant dans une mécanique qui permet d'élaborer des principes qui, à des différences de degrés près (plus ou moins grande pesanteur ou dureté des corpuscules etc.), donnent la nature des réactifs et justifient les opérations chimiques. Ces dernières, tout comme, par exemple, la distillation, résultent des différents mouvements et différentes pesanteurs conférés aux principes, chaque tourbillon agissant de proche en proche sur celui d'ordre immédiatement inférieur à cause de ruptures d'équilibre.

THEORIES DU FEU

Dans la première moitié du XVIII^e siècle, la question de la nature du feu suscite de nombreux débats dont l'article « Feu » de l'*Encyclopédie* rédigé par D'Alembert se fait l'écho². Définissant le feu par son « caractère le plus essentiel », à savoir « donner de la chaleur »³, D'Alembert s'interroge si « le feu est-il une matière particulière ? ou n'est-ce que la matière des corps mis en mouvement ? c'est sur quoi les Philosophes sont partagés ». Il rapporte notamment que les « cartésiens » l'identifient au « mouvement excité dans les particules des corps par la matière du premier élément dans laquelle ils nagent », que pour Newton « le feu n'est qu'un corps échauffé » et que « selon un grand nombre de philosophes modernes, c'est une matière particulière ». S'appuyant sur l'augmentation du poids de matières calcinées, « Musschenbroek [...] avec M. Lemery & plusieurs autres » soutiennent que « le feu est un corps particulier qui s'insinue dans les autres ; que ce corps est pesant, qu'il est impénétrable [...] ; que ses parties sont très-subtiles, par conséquent fort solides & fort poreuses ; qu'elles sont fort lisses & à ressort ; qu'enfin elles peuvent être ou mêes avec beaucoup de rapidité (mouvement nécessaire pour produire la chaleur), ou en repos dans les pores des corps, comme dans ceux de la chaux »⁴. D'Alembert note que « quelques physiciens ont pensé que le feu étoit plus approchant de la nature de l'esprit que de celle du corps ; ils ont nié que ce fût une matière » : il remarque que cette « opinion [est] soutenue avec esprit dans une dissertation moderne », et se réfère ici manifestement à la marquise Du Châtelet ayant concouru au prix de l'Académie royale des sciences de 1738 portant sur la nature et la propagation du feu⁵. D'Alembert ajoute que certains prétendent que sa nature « étoit de

- 1 Newton évoque les « Principes actifs » dans la Question XXXI de son *Traité d'optique*, p. 572 comme « la Cause de la gravité » et « la Cause de la fermentation ». Bien qu'écrivant qu'il ne considère pas « ces Principes comme des Qualitez occultes, qui soient supposées resulter de la forme spécifique des Choses », il mentionne dans son *De Natura acidorum* écrit en 1692 et publié en 1710, que les acides possèdent une force en laquelle consiste leur activité ; pour une lecture croisée de ce texte avec les travaux de Homberg et l'activité des acides chez Newton, voir Peterschmitt, *Berkeley et la chimie. Une philosophie pour la chimie au XVIII^e siècle*, Classiques Garnier, Paris, 2011, p. 97-103. Sur le rapprochement entre la lumière (le soufre-principe) seule substance active chez Homberg et l'activité des corps résultants « des particules de la lumière qui entrent dans leur composition » selon la Question XXII dans l'édition latine de 1706 du *Traité d'Optique* de Newton (qui correspond à la Question XXX de l'édition de 1718 traduite en français en 1720), voir Principe, « Wilhelm Homberg et la chimie de la lumière ».
- 2 Pour un panorama sur la question de la nature du feu, voir Joly, « La question de la nature du feu dans la chimie de la première moitié du XVIII^e siècle », *Corpus, revue de philosophie*, n° 36, 1999, p. 41-63.
- 3 D'Alembert, « Feu », *Encyclopédie*, t. VI, p. 599b : « on peut définir en général le feu, la matière qui par son action produit immédiatement la chaleur en nous ».
- 4 *Ibid.*, p. 599b-600b. D'Alembert reprend ici les conclusions de Musschenbroek, *Essai de physique*, t. I, p. 471-473. Sur l'augmentation du poids par calcination, voir §954-§956, p. 469-471. Sur la conception du feu chez L. Lémery, voir Lémery, *Conjectures et reflexions. Sur la matiere du Feu ou de la Lumiere*, MARS 1709 (1733), p. 400-418. Le feu s'identifie à un fluide dont la matière se distingue de la matière subtile, son activité, soit son mouvement, provient de l'éther ainsi que de la figure de ses parties, *ibid.*, p. 407-409.
- 5 D'Alembert, « Feu », *Encyclopédie*, t. VI, p. 600b. Pour un compte-rendu des trois prix couronnés par l'Académie, ceux de Leonhard Euler, Lozeran du Fesc, le comte de Créquy, et des mémoires de Voltaire et de la marquise Du Châtelet ayant participés au concours, voir Joly, « La question de la nature du feu », p. 50-55 et du même auteur « Les théories du feu de Voltaire et madame du Châtelet », éd. F. De Gandt, *Cirey dans la vie intellectuelle. La réception de Newton en*

n'avoir point de poids », et que Boerhaave nie cette modification de pesanteur lors de calcinations contrairement à Homberg et Lémery¹.

L'entrée « Chaleur » de l'*Encyclopédie* évoque aussi les différentes conceptions du feu en développant plus que ne le fait « Feu » les thèses de Boerhaave et de Newton. Comme pour « Feu », l'auteur de l'article remarque que « nos derniers & meilleurs auteurs en Philosophie mécanique, expérimentale, & chimique, pensent fort diversement sur la *chaleur*. La principale question qu'ils se proposent, consiste à savoir si la *chaleur* est une propriété particulière d'un certain corps immuable appelé *feu* ; ou si elle peut être produite mécaniquement dans d'autres corps en altérant leurs parties »². Parmi les partisans de la première opinion, l'auteur cite notamment Homberg, Lémery, 's Gravesande et « surtout [...] le savant & ingénieux Boerhaave »³. Ce dernier conçoit le feu comme « un corps par lui-même, *sui generis*, qui a été créé tel dès le commencement, qui ne peut être altéré en sa nature ni en ses propriétés, qui ne peut être produit de nouveau par aucun autre corps, & qui ne peut être changé en aucun autre, ni cesser d'être feu » ; également répandu dans tous les corps, imperceptible, sans pesanteur, il ne se découvre que par certains effets dont la chaleur, la lumière, les couleurs et la raréfaction⁴. Parmi les tenants de l'autre thèse, l'auteur mentionne « Descartes & ses sectateurs » et Newton pour lesquels la chaleur n'est pas « une propriété originairement inhérente à quelque espèce particulière de corps, mais [...] une propriété que l'on peut produire mécaniquement dans un corps »⁵. Aussi, « il [Newton] ne regarde pas le feu comme une espèce particulière de corps doué originairement de telle & telle propriété ; mais selon lui le feu n'est qu'un corps fortement igné, c'est-à-dire chaud & échauffé au point de jeter une lumière abondante »⁶. Ainsi, un fer rouge n'est autre chose que du feu, la flamme est de la fumée ignée et rouge, et des corps échauffés à un certain point par le mouvement, l'attrition, ou la fermentation produisent des fumées pouvant éclater en flammes⁷. Newton écrit que la matière échauffée peut se changer en lumière et réciproquement la lumière en corps, que les corps peuvent recevoir une partie de leur

France, Oxford, Voltaire Foundation, 2001, p. 212-237. La marquise Du Châtelet conçoit « que le feu [...] est un être d'une nature mitoyenne, qu'il n'est ni esprit, ni matière, ni espace, & qu'il existe peut-être une infinité d'êtres dans l'Univers, qui sont très-différens de ceux que nous connoissons », Du Châtelet, *Dissertation sur la nature & la propagation du feu*, dans *Recueil des Pièces qui ont remporté les prix de l'Académie Royale des Sciences*, t. IV, p. 120.

- 1 D'Alembert, « Feu » *Encyclopédie*, t. VI, p. 600b-601a. La question de l'augmentation du poids de matière calcinée chez Homberg et Lémery est évoquée dans les pages suivantes de ce chapitre.
- 2 « Chaleur », *Encyclopédie*, t. III, p. 23b. Cet article n'est pas signé, mais son contenu s'avère proche de « Feu » rédigé par D'Alembert.
- 3 *Ibid.* 's Gravesande, *Elémens de physique*, t. II, p. 76 soutient que « nous ne connoissons aucun Corps, qui ne contienne du Feu » ; « le feu n'a aucun poids sensible » et l'augmentation du poids de matières calcinées vient de ce qu'il fait pénétrer dans les corps « des parties subtiles & différentes du Feu même ». Nous revenons par la suite sur la nature du feu chez Homberg et Lémery.
- 4 « Chaleur », *Encyclopédie*, t. III, p. 23b-24a. Si Boerhaave évoque bien la « chaleur », la « lumière » et les « couleurs », il considère avant tout la « Dilatation » et la « Raréfaction » comme les « signes » indiquant la présence du feu et les variations de sa quantité, voir Boerhaave, *Elémens de Chimie*, t. I, p. 146-156. Les « Elémens du Feu se rencontrent partout [...] ils sont également distribués dans tous les Corps & par tout l'espace » (*ibid.*, p. 145 et p. 203-206). Boerhaave estime qu'il existe toujours un principe de dilatation (séparation des parties des corps) dans la matière, à savoir le feu, dont l'action s'oppose à celle des forces d'attractions des atomes des corps (p. 206 et p. 166-167). Il identifie le feu à une matière corporelle, composée de corpuscules subtils, solides, polis (surfaces sans éminences), sans cesse en mouvement (p. 398-412). Ils agitent les parties des corps et entraînent leur séparation (p. 160-163). Sur l'absence d'augmentation du poids de matières calcinées, voir p. 276-279. Sur la conception du feu de Boerhaave, voir notamment Rosaleen Love, « Boerhaave and the Element Instrument concept of fire », *Annals of science*, vol. 31, 1974, p. 547-559.
- 5 « Chaleur », *Encyclopédie*, t. III, p. 24b-25a.
- 6 *Ibid.*, p. 26a. Voir Newton, *Traité d'optique*, Question IX, p. 480.
- 7 « Chaleur », *Encyclopédie*, t. III, p. 26a. Voir Newton, *Traité d'optique*, Question X, p. 480-483. Sur ce point et un rapprochement Homberg-Newton, voir Principe, « Wilhelm Homberg et la chimie de la lumière ».

« activité » par la lumière entrant dans leur composition¹, que les actions (attractions et chocs) de particules dans les opérations chimiques provoquent chaleur, feu et lumière².

L'exposé de ces thèses contradictoires sur la nature du feu – matière spécifique ou mouvement des parties du corps échauffé – permet de donner un contexte général dans lequel s'insèrent les travaux de savants étudiés ci-dessous, d'examiner à quelles problématiques ils répondent et à quels courants philosophiques ils se rattachent³. Ces savants nient l'existence d'une matière ignée spécifique et seul l'éther explique la genèse et la propagation du feu. Pour autant, ils ne forment pas un ensemble homogène. En s'appuyant sur Descartes et sur Malebranche, certains identifient le feu à un simple état que prend la matière animée par l'éther, tandis que d'autres tendent à lui conférer une composition de mixte. La position de ces derniers témoigne alors d'un entre-deux. Certes, les tourbillons sont essentiels pour comprendre le feu, certes ceux-ci expliquent aussi la formation des corpuscules nécessaires à la production du feu qui, en ce sens, n'est pas d'une nature hétérogène à toute autre matière, certes la rupture d'équilibre de tourbillons rend compte de sa naissance, mais il faut aussi des réactifs bien spécifiques – huiles, soufre, air – doués de figures particulières sous peine de ne pas pouvoir produire de flammes.

PRIVAT DE MOLIERES, LE CORGNE DE LAUNAY ET KERANFLECH :
LE FEU ET LA LUMIERE

En suivant le sentiment de Descartes, Molières considère que « l'élément feu ne consiste que dans un très grand mouvement actuellement existant dans les parties d'une matière très-subtile qui remplit tout l'Univers, & qui pénètre dans les pores les plus étroits de tous les corps »⁴. Mais il ne faut pas seulement reconnaître la nécessité d'un fluide subtil, encore faut-il rechercher « la cause mécanique » qui « conserve » cette matière dans son état de « subtilité & d'activité perpétuelle » : d'une part, Descartes ne donne qu'une idée « très-confuse » du mouvement de son premier élément et, d'autre part, placer ce dernier entre les globules du second élément rend difficilement concevable la manière dont il s'en dégage pour produire ses effets. La critique repose sur cette opposition déjà rencontrée entre mouvements « confus » et mouvements en tourbillons, eux seuls permettant la conservation du mouvement⁵. L'argument évoquant cette entrave à la mobilité que représente le second élément figure aussi dans l'*Eclaircissement XVI* de Malebranche⁶. Une transformation de la nature du feu s'impose donc en suivant les changements déjà opérés pour les autres éléments. Selon Molières, la conformation en petits tourbillons permet d'assurer la permanence du mouvement et donc l'incessante activité de l'éther⁷. Par ailleurs, les petits tourbillons du premier élément occupent non seulement l'espace laissé libre par ceux du second, mais ils composent aussi ces derniers ainsi que ceux du troisième élément et, dès lors, « l'élément Feu peut pénétrer universellement tous les corps ». Il ne reste alors qu'à déterminer la raison pour laquelle « ce grand mouvement toujours subsistant dans la matière » ne se manifeste que dans des circonstances particulières (*ibid.*)

1 « Chaleur », *Encyclopédie*, t. III, p. 26a-26b. Voir Newton, *Traité d'optique*, Question XXX, p. 531-534.

2 Newton, *Traité d'optique*, Question XXXI, notamment p. 538-542.

3 Il faut relever que dans le tableau ici dressé opposant les partisans du caractère substantiel du feu à ceux opposés à cette thèse, les savants d'un groupe donné peuvent soutenir des thèses contradictoires. Ainsi, par exemple, dans le premier groupe, certains considèrent le feu impondérable et d'autres non.

4 Molières [1736], Leçon IX, Proposition I, p. 346. Voir Descartes, *Principes*, IV, AT IX, art. 80, p. 243 : « toutes les parties des corps terrestres, de quelque grosseur ou figure qu'elles soient, prennent la forme du feu, lors qu'elles sont séparées l'une de l'autre, & tellement environnées de la matière du premier élément qu'elles doivent suivre son cours ».

5 Sur ces critiques, voir Partie II, Chapitre II.

6 Voir Partie II, Chapitre I.

7 Molières [1736], Leçon IX, Proposition I, p. 348-349.

Tout d'abord, l'équilibre entre les petits tourbillons constitue « une barrière qui suffit ordinairement pour contenir l'action de l'élément Feu dans ses limites » ; qu'une cause étrangère « vienne rompre cet accord mutuel », des tourbillons du premier élément s'agrandissent aux dépens d'autres et le feu sensible se produit (*ibid.*, p. 349-350). Ce feu se transmet dans les organes de nos sens et dans les corps par l'entremise « des molécules de l'Huile » contenues dans leurs pores, molécules qui équilibrent les tourbillons du premier élément et qui chargées de globules pesants peuvent « par ce moyen [...] ébranler les molécules des autres corps sensibles dans les pores desquels [elles] sont engag[ées] » (*ibid.*, p. 353). Lorsque ces tourbillons d'huiles reçoivent « un mouvement plus grand que celui nécessaire pour entretenir l'équilibre », ils font des « efforts réitérés pour s'agrandir » suivant deux façons possibles : soit d'une manière « modérée » sous la forme de « secousses » ne rompant pas entièrement l'équilibre, soit de manière plus « violente » entraînant une rupture, les tourbillons d'huile cessant d'équilibrer ceux de leur ordre et commençant « à se mesurer » à ceux plus grands produisant alors le feu (*ibid.*, p. 353-354)¹. Dans le premier cas, les tourbillons d'huile provoquent « un mouvement turbulent » dans les parties du milieu qui les contient qui est à l'origine de la chaleur ; un mouvement d'autant plus grand que le nombre des tourbillons d'huile agités en même temps l'est ; un mouvement transmis aux corps sensibles composés de petits tourbillons qui les fait circuler plus rapidement, ce qui contribue à les agrandir et donc à augmenter le volume du milieu expliquant ainsi sa « raréfaction »². Dans le deuxième cas, les petits tourbillons d'huile cessant leur équilibre avec ceux du même genre commencent à « se balancer avec ceux du second élément » (l'éther) mais, avant de les équilibrer en devenant à leur tour second élément, et puisqu'ils possèdent des forces centrifuges d'intensité plus grande que le second élément, « il arrivera que durant tout le temps que ces petits tourbillons du premier élément mettront à devenir tourbillons du second élément, ils exciteront dans ce milieu des secousses & des vibrations d'autant plus fermes qu'ils seront devenus plus grands, & d'autant plus vives qu'ils seront en plus grand nombre », ce en quoi consiste la lumière, le corps contenant ces tourbillons devenant ainsi lumineux³.

Les molécules d'huile contenues dans l'eau subissent le premier type de modification : bien qu'agitée par le feu, elles demeurent équilibrées avec le premier élément et « resserrées dans les pores de l'eau » par les tourbillons de celle-ci – les tourbillons subalternes de l'eau étant du premier élément –, ce qui empêche qu'elles se transforment « subitement » et en « très-grand nombre » en tourbillon du second élément, condition nécessaire à l'obtention des flammes. L'eau est seulement agitée et ses tourbillons acquièrent alors « la force de repousser les efforts que ceux [les tourbillons] de l'huile [...] font pour devenir des tourbillons du second élément » ; ainsi, les flammes ne peuvent pas à se former dans ce liquide⁴. *A contrario*, en approchant la flamme de la surface de « l'esprit de vin », ses tourbillons rencontrent ceux de l'huile « à la superficie de cette liqueur » et leur donnent le « degré de force » nécessaire pour rompre leur équilibre avec le premier élément : ces molécules « s'élanceront » vers les pores plus grands de l'air où elles sont moins comprimées

1 Selon Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 256-257, de « petites massules pesantes » transforment les tourbillons du premier élément en molécules d'huile, « comme l'a expliqué l'Auteur des *Leçons de Physiques* ». Pour « exciter l'embrassement », il faut que « quelques molécules d'huile aient rompu l'équilibre de leurs forces centrales particulières avec celles des tourbillons du premier élément, ainsi que M. de Molières l'a fort distinctement expliqué ».

2 Molières [1736], *Leçon IX, Proposition I*, p. 355. Même conception de la chaleur issue d'un mouvement qu'il qualifie de « turbulent » des molécules d'huile chez Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 304.

3 Molières [1736], *Leçon IX, Proposition I*, p. 356.

4 *Ibid.*, *Proposition III*, p. 365-369. Pour cette même raison, l'allumette plongée dans « l'esprit de vin » (éthanol) n'enflamme pas la liqueur, les tourbillons du feu y agitent les molécules d'huile sans les agrandir suffisamment afin qu'elles deviennent des tourbillons du second élément. Notons que l'ébullition d'un liquide ne provoque pas de flammes car bien que les tourbillons d'huile s'agrandissent et peuvent former de l'air, cet agrandissement est progressif et non subit, ce qui est requis pour la formation de flammes, car les molécules d'eau résistent à l'agrandissement de celles d'huiles.

que dans les pores de l'eau dont l'esprit de vin est constitué et où elles pourront « s'étendre & se développer en plus grand nombre » ; elles passeront ainsi du premier au second élément – l'air se composant de tourbillons du second élément – en donnant une flamme. Ce feu s'étend à la liqueur car, de proche en proche, les tourbillons de l'huile enflammés communiquent des degrés de forces supplémentaires à leurs voisins¹. En somme, tout se passe comme si les tourbillons de plus grande force migrent là où ils trouvent le moins de résistance à savoir vers les pores de l'air : ceci met en évidence le rôle de l'air dans la production du feu puisqu'il permet ici d'expliquer l'agrandissement rapide des molécules d'huiles à l'origine des flammes.

Se voit alors expliquées mécaniquement la naissance et la propagation du feu par le biais d'une rupture d'équilibre, suivant le même mécanisme que les phénomènes de fermentation et dissolution expliqués précédemment, inflammation qui requiert un déséquilibre entre les tourbillons extérieurs à un corps et ceux dans ses pores :

le feu agit sur les corps combustibles principalement par le moyen des petits tourbillons qui sont renfermés dans ceux-ci, & qui venant à s'agrandir rapidement de cette matière vague qui n'est plus en tourbillons, soulèvent les parties des solides, les détachent brusquement les unes des autres ; ce qui les fait pirouetter avec roideur dans la matière rompue dont elles entretiennent la rupture, & dont elles rompent encore le voisinage, à mesure que ce qui se dissout fournit plus de ces mêmes parties².

L'agrandissement des tourbillons de l'huile se fait par « degrés » entraînant au cours du temps une variation (diminution) de « promptitude » des vibrations transmises à l'éther et, par ailleurs, un « très grand nombre » de ces molécules de l'huile peuvent posséder « un même degré de promptitude ». Ces tourbillons d'huile produisent alors différentes impressions sur l'éther dont les diverses vitesses vibratoires des tourbillons peuvent « exciter en nous » les couleurs dans toutes leurs nuances³.

Les théories développées par Molières, Launay et Keranflech suivent les traces de Descartes et de Malebranche en n'accordant pas au feu une nature spécifique. La production de lumière ne consiste pas en une émission corpusculaire, à l'instar des particules identifiables au soufre principe et constitutives du feu de Homberg⁴, mais s'interprète en terme de rupture d'équilibre de tourbillons ; le feu résulte d'une agitation des parties d'un corps soumis à l'action des molécules d'huiles non équilibrées. Les molécules d'huile n'entrent ni dans la composition du feu ni dans celle de la lumière et ne font donc pas de celles-ci des matières particulières : ils jouent le rôle d'intermédiaires entre le premier élément et les corps sensibles. Chaleur, feu, lumière procèdent des mêmes principes et ne diffèrent essentiellement que par des différences de degrés dans les agitations des tourbillons. Un auteur comme Keranflech estime qu'« il peut y avoir autant d'ordre de feu qu'il y a d'ordres de petits tourbillons » et, contrairement à Molières ou Launay, il ne confère pas aux molécules d'huiles, donc à des tourbillons d'un certain ordre, un rôle particulier dans la genèse du feu⁵. Mais sa théorie suit les mêmes principes explicatifs. Lorsque tous les ordres de tourbillons s'équilibrent « la matière éthérée est insensible, ou ne fait aucune impression sur nos sens », et la chaleur résulte de la matière éthérée qui augmente « l'agitation » des tourbillons au sein des pores des corps. Le feu requiert une rupture d'équilibre :

si une certaine multitude de petits tourbillons tous voisins est décomposée, ensorte que ces tourbillons soient rompus, en un mot, que leur matière ne soit plus en tourbillons ; aussitôt cet endroit de l'éther

1 *Ibid.*, p. 369-374.

2 Keranflech, *L'hypothèse des petits Tourbillons*, p. 155-156.

3 Molières [1736], Leçon IX, Proposition I, p. 358-359. Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 304-306 propose une explication similaire. Nous renvoyons au chapitre suivant pour la nature de la lumière.

4 Voir Principe, « Wilhelm Homberg et la chimie du feu ».

5 Keranflech, *L'hypothèse des petits Tourbillons*, p. 154.

n'ayant plus l'élasticité nécessaire pour soutenir l'effort des tourbillons voisins, toute la sphère environnante retombe sur lui, & il ne peut la repousser que par les secousses irrégulières que les parties solides qui ont rompu l'espace, & qui y piroettent avec roideur, donnent de tous les côtés. Ces secousses mettent en vibrations les parties de l'éther, & font paroître l'espace rompu *lumineux* & tout *blanc*, comme nous voyons la *flamme*¹.

Ce qui vaut pour le feu vaut aussi pour le Soleil. Ce dernier se compose d'un globe dur entourée d'une très grande atmosphère « enflammée » : un nombre « comme infini » de molécules d'huiles « se détachent sans cesse du grand tourbillon solaire, se précipitent au centre & y entretiennent l'embrassement »². A mesure qu'elles s'approchent de la superficie de l'astre, les molécules d'huiles « s'enflamment successivement » causant des vibrations à la fois dans le premier et le second élément : les premières se transmettent jusqu'aux molécules d'huile comprises dans les corps sensibles provoquant échauffement et raréfaction, les autres produisent la lumière³.

LOZERAN DU FESC ET BOUILLET : FEU ET FERMENTATION

D'autres savants suivent les traces de Malebranche tout en apportant quelques nuances. Il s'agit alors d'associer les petits tourbillons à des considérations plus proprement chimiques relatives aux mixtes considérés comme nécessaires à l'inflammation.

La nature du feu selon Lozeran du Fesc

Lozeran du Fesc ouvre son *Discours sur la propagation du Feu* qui remporte le prix de l'Académie royale des sciences de Paris de 1738 sur cette observation que les chimistes dans leurs travaux de décomposition des mixtes « n'y ont jamais trouvé de feu » et, conséquemment, ce dernier « n'est pas un élément réel ; [...] il n'y a point de feu principe ou élémentaire »⁴. Aussi ne faut-il pas regarder « des parties ignées comme des parties d'un élément particulier », car le feu considéré « non comme un mixte, est une véritable chimère » (*ibid.*, p. 54). Le feu consiste en « une matière éthérée extrêmement subtile & déliée répandue par-tout, qui pénètre tous les corps, dont les parties toujours en mouvement donnent le branle à tous les autres mouvemens », et cette matière subtile n'acquiert « les qualités sensibles du feu [...] que dans certaines circonstances, ou lorsqu'elle trouve des dispositions particulières dans les mixtes ». Lozeran affirme alors qu'un tel feu correspond à « la matière subtile de Descartes, dont le Pere Mallebranche me paroît avoir mieux expliqué le mouvement que tout autre, & dont, par cette raison, je suivrai le sentiment » (*ibid.*, p. 27-28).

Pour autant, ce feu ne correspond pas seulement à la « forme » que prend la matière selon les thèses de Descartes et Malebranche. En effet, Lozeran l'identifie à « un mixte composé de sels, de soufres, d'air & de matière éthérée », et il nomme « ces quatre substances *substances ignées* » (*ibid.*, p. 28-30)⁵. A lui seul, ce mélange ne produit pas du feu, encore faut-il que ses

1 *Ibid.*, p. 152-153.

2 Molières [1736] Leçon IX, Proposition IV, p. 377. Les molécules d'huiles peuvent se détacher et migrer vers le soleil car lors de la révolution des grands tourbillons ceux-ci peuvent perdre de la matière qui par son poids tombe vers le centre de révolution, voir Partie II, Chapitre II.

3 *Ibid.*, p. 377-379. Les corps terrestres soumis au Soleil peuvent paraître chaud « sans exciter en nous le sentiment de lumière » : les vibrations transmises à partir du Soleil ne donnent pas lieu à une rupture d'équilibre des tourbillons dans ces corps et donc ils ne s'enflamment pas, *ibid.*, p. 380. Un développement similaire figure chez Launay, *Principes du système des petits tourbillons*, p. 256-259.

4 Lozeran de Fesc, *Discours sur la propagation du Feu*, dans *Recueil des Pièces qui ont remporté les prix de l'Académie Royale des Sciences*, t. IV, p. 26-27.

5 Lozeran montre que différentes opérations chimiques combinant ces substances provoquent une flamme et, *a contrario*, que si l'une d'entre elle vient à manquer il ne se produit pas de feu. Ainsi, le mélange de limaille de fer avec du soufre en poudre le tout fixé en une pâte avec de l'eau fermente et finit par s'enflammer : l'ensemble combine alors du soufre, des « Sels vitrioliques » contenus dans le fer, de l'air, de l'éther, et des parties « terreuses » et « aqueuses », ces deux

parties soient « désunies » (elles « ne tiennent point les unes aux autres ») et « intimement mêlées » (« dégagées de toutes substances étrangères qui [les] embarrasseroient ») (*ibid.*, p. 31-32)¹. Sels, soufres et air ne produisent pas à eux seuls le feu : ce qui lui donne « la forme qui en fait le Feu, c'est le mouvement, mais un mouvement de tourbillon, qui fait tourner toutes les parties de ces substances chacune autour de son propre centre, & plusieurs ensemble autour d'un centre commun », et il s'agit là de « la véritable forme essentielle, ou le mouvement que doivent avoir toutes ces substances pour être du Feu » (*ibid.*, p. 32).

Pour justifier ce mouvement en tourbillons, Lozeran rapporte que la fluidité des corps résulte du mouvement respectif des parties, et que des « Auteurs » prétendent que ce dernier « n'est qu'un mouvement de tourbillon qui agite les petites molécules du fluide, chacune autour de son propre centre, & plusieurs autour d'un centre commun » ; il estime que les « raisons » avancées par ces savants lui paraissent « assez prouvantes » et que « les petites molécules de la flamme, qui est un véritable fluide, sont agitées de ce mouvement » (*ibid.*, p. 33-34). L'évocation de Malebranche dont il écrit suivre « le sentiment » suggèrent à quels « Auteurs » Lozeran peut se référer. Par ailleurs, selon Lozeran, la cohésion du feu est assurée par les tourbillons. En effet, « la vitesse si prodigieuse » et « inconcevable » de ses parties qui « n'ont sans doute pas moins de vitesse que la lumière qu'elles répandent » (*ibid.*, p. 34) feraient que dans l'hypothèse de mouvements en ligne droite elles se « dissiperoient infiniment plus vite qu'elles ne font » : l'air environnant « qui sert de limites à la flamme, ne seroit pas capable de les contenir », elles qui tirent suffisamment de force de leurs mouvements pour séparer, calciner, fondre. En tourbillons, elles n'agissent que par leur force centrifuge, et l'air n'a plus besoin d'autant de force pour résister : l'air contient ces flammes « d'autant plus que la plus grande partie de leur vitesse est employée à faire leur révolution périodique autour de leur propre centre, & la moindre partie à faire leur révolution autour d'un centre commun », or, d'après Lozeran, « elles n'agissent pour écarter l'air, que par leur effort en éloignement d'un centre commun » (*ibid.*, p. 34-35)². L'air sert ainsi de « vase » permettant de « contenir » les flammes, ce qui peut se concevoir aussi en ayant à l'esprit que l'air lui-même se compose de tourbillons d'après Lozeran, lesquels devraient donc équilibrer à chaque instant ceux du feu, même si le savant ne s'exprime pas sur ce point.

L'action seule de l'éther sur les sels et soufres ne produit pas le feu, comme cela s'observe dans un milieu purgé d'air. Par ailleurs, Lozeran estime que l'éther à lui seul aurait peine à faire des sels et des soufres un fluide, et que de tous les fluides seul l'air doit sa fluidité à la matière subtile : « tous les autres fluides doivent peut-être autant leur fluidité aux petites parties de l'air qui y sont mêlées, qu'à la matière éthérée », cette affirmation s'appliquant au feu (*ibid.*, p. 44). Le mélange de l'éther et de l'air avec les « parties désunies » des soufres et des sels forme un fluide mais pas nécessairement le feu : encore faut-il que les parties salines et sulfureuses soient bien mêlées à l'air et l'éther et qu'elles admettent entre elles « beaucoup d'air & de matière éthérée » qui les agitent. Le mouvement du feu provient alors de la « matière éthérée » mais « elle a besoin des parties aériennes, comme d'un instrument

dernières ne contribuant pas la naissance du feu ; ou bien encore le mélange d'huile essentielle de plante aromatique (contenant des « soufres ») avec de l'« esprit de Nitre » (acide nitrique) pur et déflegmé (contenant donc des « sels de Nitre ») s'échauffe et produit une flamme à l'air libre. La matière éthérée jointe aux sels et aux soufres ne produit pas de feu dans une machine à vide pompé de son air (*ibid.*)

- 1 Ainsi, bien que des sels, des soufres, de l'air, le bois ne s'enflamme pas spontanément, car « les parties de ces substances, sont unies dans le bois » : il faut qu'elles « ne soient point liées ensemble par des parties hétérogènes qui les tiennent séparées, ou qui les contraignent à demeurer au repos en les serrant » (*ibid.*)
- 2 Lozeran apporte d'autres raisons pour ce mouvement en tourbillons. La fumée peut se changer en flamme (en approchant une chandelle de la fumée produite par une chandelle éteinte, la première s'enflamme ; « l'huile bouillante exhale une fumée qui s'enflamme à l'approche d'une chandelle » etc.), elle se compose de la même matière que le feu mais n'est pas assez en mouvement pour être feu ; or, l'observation montre que le mouvement des parties de cette fumée est un mouvement tourbillonnaire, lequel s'accélère immédiatement avant la naissance des flammes. Par ailleurs, le mouvement de tourbillon observé dans les parties de la flamme avant qu'elle ne se change en fumée « prouve » que ces parties étaient animées d'un tel mouvement avant de devenir fumée (*ibid.*, p. 37-38).

nécessaire pour mouvoir les soufres & les sels », puis l'éther et l'air « ont encore besoin des soufres pour donner autant de mouvement qu'il en faut aux sels, & des sels pour donner aux soufres un mouvement suffisant » (*ibid.*, p. 43-44)¹. Un feu augmente car les soufres et les sels rendus mobiles sont constitués de « parties oblongues » dont la rotation sur elles-mêmes les écarte les unes des autres en leur faisant occuper ainsi un plus grand espace « qui se remplit tout de suite de l'air & de la matière éthérée », ce qui augmente alors davantage les mouvements de ces sels et soufres lesquels, par leurs « chocs mutuels », ainsi que par le mouvement même de l'air et de l'éther, forment de « petits tourbillons » leur donnant « une force de ressort, ou une force centrifuge » ; « par l'augmentation de cette vitesse, le ressort de toute cette matière devient bientôt supérieur à la résistance de l'air qui lui sert de vase, & tout se dissipe, ainsi qu'il arrive à la poudre enflammée » (*ibid.*, p. 44-45).

La propagation du feu

Dans l'action du feu sur un corps,

ce sont les sels qu'il contient, qui ébranlent, qui séparent, qui désunissent les parties des corps combustibles qui sont appliqués à la flamme ; la matière éthérée & l'air n'y peuvent rien ; les soufres sont trop mols & trop émoussés ; ce sont les sels pesans, roides, aigus & tranchans qui heurtent fortement les petites parties de ces corps combustibles, & qui les mettent, par la désunion qu'ils font, dans la disposition prochaine d'être enflammées (*ibid.*, p. 46).

Ainsi, « le Feu se répand d'abord par l'action des sels » puis « la matière éthérée, l'air, les soufres & les sels de la flamme se mêlent, par le mouvement, avec la matière éthérée, l'air, les soufres & les sels qui se trouvent dans ces corps combustibles parmi leur parties désunies, les font bouillonner & les enflamment par le mouvement de tourbillon qu'ils leur communiquent » et par le même mécanisme le feu se propage à tout le corps (*ibid.* et p. 42-43). Les diverses proportions des « substances ignées » rendent compte des différences d'ardeur des feux² et justifient, avec d'autres facteurs, les différentes vitesses de propagation dans les mixtes³. Lozeran considère « le Feu comme un véritable ferment, & la propagation du Feu comme une fermentation » (*ibid.*, p. 42).

A l'appui de cette analogie, il mentionne un mémoire de Jean Bouillet de 1719 qui, bien que non primé par l'Académie de Bordeaux sur la question de la cause de la multiplication des ferments, est estimé « digne d'être lûe à l'Assemblée publique » et d'être publié⁴. La dissertation de Bouillet s'inspire de Malebranche. Le savant considère que la multiplication des ferments est « une reproduction » de ceux-ci, la cause de ce développement s'identifiant alors à leur « generation ». Une portion de pâte contenant du levain, il s'agit de connaître la raison pour laquelle celle-ci se transforme en levain (*ibid.*, p. 3). Deux « corps » agissent sur cette pâte, la matière subtile et l'air, et seul le premier correspond à « la cause prochaine &

1 L'examen ci-dessous du prix de Lozeran de 1726 sur la nature du tonnerre et des éclairs permet de spécifier davantage le rôle de l'air dans la formation du feu : les corpuscules de l'air ont prise sur les soufres et les sels alors que l'éther peu passer entre leurs pores. Ainsi s'explique la nécessité de la présence de l'air pour l'obtention d'un feu.

2 Ainsi, un corps composé essentiellement de soufre ne donne qu'un feu faible car « il n'y a pas assez de parties salines pour la quantité des parties sulfureuses & d'autres parties hétérogènes qu'il contient ». Ou bien encore, une poudre « bien pilée & bien serrée » ne donne pas naissance à un feu aussi « violent » qu'une autre à l'air libre, car sous cette forme « elle ne contient point assez d'air », *ibid.*, p. 47.

3 Le feu ne se répand pas avec la même vitesse dans des matières combustibles « parce que les substances ignées n'y sont pas dans la même proportion » ; « parce qu'elles y sont plus mêlées de matières hétérogènes » contribuant à altérer le mouvement des tourbillons ; « parce qu'elles y sont plus fortement liées par la cause de la dureté, & qu'ainsi il en coûte plus au feu qu'on y applique, pour en désunir les parties », *ibid.*, p. 48.

4 Bouillet, *Dissertation sur la cause de la multiplication des ferments*, Bordeaux, R. Brun, 1719, non paginé.

immédiate, ou efficiente » d'un tel changement (*ibid.*, p. 3-4)¹. Bouillet conçoit les ferments comme « des mixtes qui ont dégénéré de leur nature, & qui ont acquis une certaine disposition qui les rend capables d'altérer d'autres mixtes [...] & de se les rendre semblables » (*ibid.*, p. 1) : il recherche alors la « cause matérielle ou occasionnelle » (*ibid.*, p. 15) qui « oblige » et « détermine » (*ibid.*, p. 6) la matière subtile à agir sur une pâte de telle sorte que ses parties prennent cette « disposition » faisant d'elles un ferment.

A ce vocabulaire malebranchien répond alors une conception toute malebranchienne de l'éther et de son action : la « pression » de ses « tourbillons » assure la consistance des corps, et cette matière située dans leurs interstices fait « équilibre » par ce « ressort » des tourbillons à celle extérieure, Bouillet renvoyant le lecteur à la consultation du dernier chapitre du Livre VI de *De la Recherche de la vérité* expliquant la cohésion de la matière et à l'*Eclaircissement XVI* (*ibid.*, p. 12-13). Ainsi, lorsque toutes les parties d'une farine sont en repos, l'éther presse également les « parties insensibles » de figures et grosseurs irrégulières qui la constituent et dont l'assemblage forme des « parties grossières & sensibles » auxquelles Bouillet confère une forme sphérique, une grosseur et une consistance identiques (*ibid.*, p. 8-9). Mais qu'« on [...] ébranle les parties insensibles, qu'on les désunisse, ou qu'on trouble leur arrangement en y mêlant de l'eau chaude », alors une plus grande quantité de tourbillons pénètre les interstices, le « ressort » des tourbillons intérieurs qui équilibraient ceux au-dehors s'en trouve « augmenté » : Bouillet évoque les « torrens de matière subtile » qui « se meut alors avec beaucoup plus de vitesse que la matière subtile ambiante », et qui entraînent les parties insensibles et irrégulières. Ce mouvement dure jusqu'à ce que la pâte se transforme en ferment, autrement dit « jusqu'à ce que les parties insensibles de cette farine se soient unies, & arrangées d'une autre manière, ou qu'elles aient formé d'autres parties grossières & sensibles, & que les tourbillons de la matière subtile se soient remis en équilibre » (*ibid.*, p. 14). Dans un autre passage, Bouillet écrit que l'eau doit « ébranler & séparer » les « parties insensibles » et ainsi « donner occasion à la matière subtile enfermée dans leurs interstices de se dilater, de se mouvoir avec plus de vitesse que la matière subtile du dehors, & de pousser ou d'écarter çà & là tout ce qui fait obstacle à son mouvement », causant alors le gonflement de la pâte (*ibid.*, p. 20). Qu'un levain ainsi préparé soit mélangé à une pâte, son action accélère la fermentation : les « molécules » de ce levain agitées par l'éther ou l'eau chaude en « ébranlant & séparant » les « parties insensibles » de la pâte permettent à la matière subtile de mouvoir et d'arranger ces parties de la même manière que ce levain, et ce d'autant plus vite que ce dernier se compose de « molécules [...] beaucoup plus grosses que celles l'eau » qui ébranlent alors avec « beaucoup plus de force » les « parties insensibles » de la pâte, ce qui « donne occasion à la matière subtile intérieure de se dilater & de les agiter avec plus de force » (*ibid.*, p. 25-26).

Ainsi, le dérangement causé par une entité extérieure (par exemple l'eau) rompt un équilibre et permet à une grande quantité d'éther de s'engouffrer dans les pores, phénomène probablement responsable d'une plus grande compression et donc d'une plus grande force centrifuge des tourbillons internes qui sont davantage animés, qui emportent des parties de matières et les réorganisent entre elles et qui, possédant plus de force, se dilatent, gonfle le milieu où ils se trouvent et ce jusqu'à un retour à l'équilibre avec le fluide ambiant. L'explication mobilise un jeu de ruptures d'équilibre de tourbillons issu explicitement de la théorie de Malebranche.

Pour sa part, Lozeran écrit que « le ferment est un mixte propre à convertir en un ferment semblable d'autres mixtes analogues, qu'on lui mêle. Ainsi, le levain est propre à convertir la pâte en un levain semblable » ; il en résulte que la fermentation consiste en un mouvement par

1 Si l'air « contribue beaucoup » à la multiplication des ferments, Bouillet note qu'il reçoit sa « force [...] pour agir » de la matière subtile. Par ailleurs, il ne touche que « les parties les plus grossières des corps qu'il environne » ne pouvant ainsi contribuer aux mouvements insensibles au sein de la matière. *Ibid.*, p. 4-5.

lequel « le ferment convertit les mixtes analogues en un ferment semblable »¹. La matière subtile anime les parties désunies des « mixtes analogues » aux ferments, elle les fait « bouillonner avec elle » ce qui les brise ; elle leur donne une autre conformation ou, plutôt, elle sépare les parties hétérogènes et réunit plusieurs homogènes ensemble et, « en conséquence de ce changement, le mixte fait sur nous la même impression que faisoit le premier ferment, & lui devient semblable ; impression que ce mixte ne faisoit pas avant la fermentation, parce que les parties propres à faire cette impression y étoient trop séparées & trop mêlées avec d'autres parties qui en émousoient le goût ». De la même manière,

le feu sera [...] un ferment général avec lequel tous les mixtes ou presque tous les mixtes sont analogues, qui les fait tous fermenter, & les convertit en un semblable ferment, puisque le Feu change en feu presque tous les mixtes : il sera en même tems le ferment le plus actif, puisqu'il n'en est point qui fasse fermenter les mixtes analogues avec tant de promptitude (*ibid.*, p. 41-42).

L'explication de la propagation du feu s'ensuit naturellement. Les matières combustibles, tels que les bois, contiennent des sels et des soufres, de l'air, de l'éther, des parties terreuses et aqueuses, et

quand on met ces bois au feu, les petits tourbillons du feu agissant d'abord contre les parties de la surface, les agitent par le mouvement qu'ils leur communiquent, les secouent fortement, les séparent enfin, & les désunissent, sur-tout par l'action des sels qui sont roide, aigus, & tranchans. Pendant tout ce mouvement les pores s'élargissent, de petits tourbillons de feu y entrent & agissent en-dedans, de la même manière que les petits tourbillons de feu contigus à la surface, agissent en-dehors. Les petites parties du bois étant enfin séparées & désunies par ces efforts redoublés, ne prennent pas sitôt feu, parce que leurs sels & leurs soufres, le peu d'air qu'il y a, & la matière éthérée sont encore trop embarrassés par la quantité des parties hétérogènes qui y sont mêlées ; mais peu-à-peu les parties aqueuses s'envolant en vapeurs, les sels & les soufres ont plus de liberté pour bouillonner avec l'air & la matière éthérée, se dilater & se mouvoir enfin d'un mouvement de tourbillon assez vif pour donner de la lumière, & être un vrai feu. La première couche de matière combustible étant ainsi convertie en feu, fait de même fermenter la seconde couche, & la convertit pareillement en feu ; & ainsi de couche en couche, jusqu'à la dernière, toute la matière combustible se change successivement en feu, & se consume (*ibid.*, p. 42-43)².

Le feu est contenu par l'air et, puisque l'un comme l'autre ont la forme de petits tourbillons, il faut supposer qu'ils s'équilibrent : le « ressort » du feu augmente jusqu'à vaincre la « résistance » de l'air et provoque ainsi l'expansion du feu. La naissance du feu semble liée à une rupture d'équilibre impliquant qu'une « cause » extérieure provoque la désunion des parties inflammable d'un corps, l'éther et l'air les animant et provoquant la flamme. Concernant la propagation du feu, soit le phénomène de « fermentation », Lozeran écrit que les tourbillons vont « bouillonner » et se « dilater », termes laissant supposer une augmentation de l'intensité de forces centrifuges et donc un déséquilibre bien que le rôle de ce dernier demeure peu explicite dans son explication. L'évocation de la théorie ferments de Bouillet qui « me paroît s'en former une idée très-débarassée, & plus vraisemblable que tout ce que j'en ai pû voir ailleurs » (*ibid.*, p. 41) peut suggérer que Lozeran s'appuie directement sur le mécanisme de fermentation – que Bouillet fait reposer clairement sur une différence de

1 Lozeran de Fesc, *Discours sur la propagation du Feu*, p. 41.

2 Ces explications permettent de justifier la naissance de feu sans « aucun feu communiquant » : « de même que la pâte sans levain ne laisse pas de fermenter en certaines occasions [...], & d'être convertie par cette fermentation en un véritable levain, de même les matières combustibles pourront dans certaines circonstances, fermenter sans qu'aucun feu leur soit appliqué, & par ces fermentations être converties en un véritable feu ». Par conséquent, s'il existe une cause qui vienne « secouer », « ébranler » et « désunir » les parties insensibles d'un corps combustible, et si les sels, soufres, l'air, l'éther sont en quantités suffisantes, « cette matière éthérée donnera peu-à-peu à toutes les autres substances ignées le mouvement propre au feu, & les convertira par-là en un véritables feu », *ibid.*, p. 51-52. Ainsi se conçoit la raison pour laquelle les rayons du soleil réunis au foyer d'une loupe peuvent enflammer un corps : ils « ébranlent & désunissent [...] bientôt les petites parties du corps combustible, & mettent ainsi les sels & les soufres qu'il contient, dans la disposition où ils doivent être pour que la matière éthérée les enflamme », *ibid.*, p. 55.

forces centrifuges de petits tourbillons – pour expliquer la propagation des flammes ; nous verrons dans le mémoire de Lozeran sur le tonnerre que la rupture d'équilibre de petits tourbillons est le schéma explicatif général pour rendre compte de la formation des éclairs.

L'inflammation d'un corps ne résulte pas d'un déséquilibre entre ce que Molières appellerait le premier élément et des tourbillons d'huile : Lozeran n'écrit pas que les tourbillons au sein des pores des corps se dilatent, soulèvent des parties des corps et les séparent les unes des autres. En suivant ce qu'écrit Bouillet, on pourrait supposer que l'éther pénètre dans le corps à brûler et provoque une augmentation de la vitesse et de la force des tourbillons internes ; mécanisme proche de celui proposé par Molières pour expliquer la dissolution des sels par l'eau (voir ci-dessus). Par ailleurs, le feu requiert des proportions adéquates entre les quatre substances le produisant, à la manière d'un mélange de réactifs chimiques nécessaire à une réaction. Par ce mélange Lozeran s'éloigne des thèses de Descartes et de Malebranche qui envisagent le feu comme une forme particulière que prend la matière ; Lozeran tend à conférer au feu le statut de substance particulière¹. Lozeran compose alors une théorie relevant de celle de Malebranche et de théories mécanistes comme celles de L. Lémery et de Crousaz qui attribuent un mouvement rapide et des figures spécifiques aux parties du feu – des sels « roides, aigus, & tranchans » écrit Lozeran – afin d'expliquer son action destructrice, thèses qui, comme nous l'avons vu, sont critiquées par un savant tel que Molières².

LA FORMATION DES ECLAIRS : LOZERAN DU FESC ET PRIVAT DE MOLIERES

Lozeran de Fesc remporte en 1726 le prix de l'Académie de Bordeaux portant sur la nature du tonnerre et des éclairs avec une dissertation entrant en résonance avec ses autres écrits relatifs à l'air et au feu ; dissertation dont Molières s'inspire dans ses *Leçons*.

Le mémoire de Lozeran s'ouvre par une analogie entre les effets du tonnerre et ceux de la poudre à canon qui ne permet pas de douter que « leur nature ne soit à peu près la même » : l'inflammation de la poudre donnant une lumière vive qui se dissipe, la « puanteur » qui s'en dégage, le bruit, les dégâts produits, font de « la poudre à Canon [...] un véritable Tonnerre artificiel »³. La « matière du Tonnerre », à l'instar de celle de la poudre, est alors de nature « Salino-sulphureuse » mais, bien que nécessaires à l'inflammation selon les chimistes, à eux seuls les sels et les soufres ne suffisent pas puisqu'il s'en trouve dans tous les mixtes (*ibid.*, p. 4-5). Comme pour son explication du feu, Lozeran adjoint donc un mouvement, et

le Père Malebranche a prouvé que la matière étherée est toute composée de petits tourbillons qui bouillonnent sans cesse. Or il est clair, que l'air ne peut nager dans cette matière sans que ses petites parties ne soient continuellement déterminées à bouillonner avec elle, & à former par tout des petits tourbillons. Il faut donc avouer que les petites parties de l'air ont aussi un mouvement de tourbillon plus ou moins violent, selon que la force de leur bouillonnement est plus ou moins grande. Avec un tel

-
- 1 Pour Joly, « La question de la nature du feu », p. 49, « les trois essais couronnés marquent l'échec de toute tentative de construire une chimie cartésienne : les chimistes amateurs ou professionnels de l'époque ne savent pas se résoudre, comme avait su le faire Descartes, à abandonner toute conception substantialiste du feu ».
 - 2 Ainsi, L. Lémery, *Conjectures et réflexions*, p. 405-406 évoque « la matière de feu [qui] doit être regardée comme un fluide d'une certaine nature, & qui a des propriétés particulières qui le distinguent de tout autre fluide » ; ces propriétés dépendent de la rapidité et de la figure des corps de ce fluide. Sur la distinction entre le feu et la matière subtile, et sur la mobilité des parties du feu par l'éther, voir p. 407-408. Bien que cette matière « échappe à l'artiste dans l'analyse des corps inflammables », Lémery la suppose tout de même présente dans les corps, *ibid.*, p. 415. Crousaz attribue au feu des « parties [...] très solides » voire « plus solide qu'aucune que nous connoissons sur la terre », « très minces », sous « la forme d'un fuseau, ou de deux cones fort à pointez dans leurs extremités, & adossez l'un contre l'autre par leur baze », de grosseurs et longueurs inégales. Ces corps sont animés d'un mouvement de rotation autour de leur centre de gravité et déterminent les parties des corps frappés à prendre ce mouvement, lesquelles en entraînent d'autres, voir Crousaz, *Dissertation sur la nature, l'action, et la propagation du feu*, Bordeaux, Pierre Brun, 1729, p. 6-8. Ce mémoire remporte le prix de l'Académie de Bordeaux en 1729 sur la question de la nature et la propagation du feu.
 - 3 Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la cause et la nature du tonnerre et des éclairs*, Bordeaux, R. Brun, 1726, p. 3-4.

mouvement ces petites parties font sans cesse effort pour s'éloigner du centre de leur mouvement, ou ce qui est la même chose, chaque petit tourbillon d'air tend nécessairement à se dilater. C'est le total des tendances à se dilater de tous les petits tourbillons qui composent une quantité sensible d'air qui est le ressort même de cette quantité d'air (*ibid.*, p. 7-8).

« Les petites parties de l'air » en tourbillons se trouvent enfermées dans les pores des grains de poudre à canon qui se composent d'un mélange de nitre, de charbon et de soufre, et dans les interstices entre ces grains. Il existe ainsi une « tendance à la dilatation » en activité constante, sous forme de « petits ballons tout prêts à se débarrer, & à se dilater avec violence au moment qu'on détruira la force qui bande leur ressort » (*ibid.*, p. 6-7). La force du « ressort » dépend de la « disposition » de la matière à se dilater violemment, « disposition » elle-même liée au mélange des réactifs avec l'air. En effet,

les petites parties de toutes ces substances étant hétérogènes, elles doivent laisser entre elles de grands intervalles, où s'enferme beaucoup de matière étherée, & cette matière étherée qui ne donneroit pas un grand mouvement aux parties huileuses [issues du charbon] & salines, lorsque leur union est rompue, si elle agissoit immédiatement sur elles à cause de la rareté [leur porosité] des unes & de la pesanteur des autres, se trouve en état de les agiter avec une grande force par le moyen des parties d'air, parce que ces petites parties d'air, ayant plus de corps que celles de la matière étherée, donnent plus de mouvement aux parties salines qui sont dures & pesantes, & celles-ci aux parties huileuses, qu'elles ne traversent pas comme la matière étherée (*ibid.*, p. 9).

Comme remarqué pour la théorie du feu de Lozeran, l'air s'avère donc nécessaire comme intermédiaire entre l'action de l'éther et des réactifs. Le feu mis à la poudre vient libérer toutes les forces comprimées : il cause la désunion des parties des grains de poudre, il délivre l'air qui se dilate, qui fait « bouillonner » avec lui les sels et sulfures désunis, qui à leur tour « secoient & désunissent » les grains voisins, et l'air dans et entre les grains n'étant ainsi plus retenu se « débarré » de tous côtés ; l'éther agissant en même temps fait « bouillonner » avec lui « cette matière fondue » de « parties désunies les unes des autres » et « la détermine à prendre un mouvement de tourbillon très véhément, d'où résulte & la lumière de la poudre embrasée, & sa rarefaction subite, & l'explosion de tous les corps qui s'opposent à cette rarefaction » (*ibid.*, p. 10).

La composition de la « matière du tonnerre » est identique. Les « exhalaisons salines & sulfureuses » ainsi que les vapeurs s'élèvent du sol par la chaleur en un « mouvement *Tubinaire* ou de Tourbillon » ; « il faut regarder & les globules de vapeurs & les globules d'exhalaisons par tout répandus dans les airs, comme autant de très petits ballons prêts à se dilater, mais retenus dans leur état de compression par la force de l'air qui les environne ». En somme, puisque nous avons vu que Lozeran considère l'air comme composé de petits tourbillons, ce milieu équilibre les « petits ballons » d'exhalaisons et de vapeurs ; reste alors à trouver « la cause de l'embrasement de la matière Salino-sulfureuse », autrement dit celle de la rupture d'équilibre entraînant l'éclair comme le feu rompt l'équilibre au sein de la poudre (*ibid.*, p. 12-13).

De manière générale, il se forme des tourbillons plus ou moins grands dans l'atmosphère car les mouvements contraires dans l'air en déterminent certaines parties à circuler autour de divers centres. Ceci est d'autant plus vrai dans les nues qui proviennent de mélanges de vapeurs et d'exhalaisons rassemblées notamment par les vents : l'air y est « resserré » entre les globules de vapeurs et d'exhalaisons, et ainsi les « divers mouvements de ses petites parties sont gênés & embarrassés ». Puis des vents (donc de l'air) pénètrent dans ces nues, y trouvent des obstacles les faisant se détourner de leurs cours et circuler en divers sens, air qui par ses chocs augmente le « *Tourbillonnement* » des vapeurs et exhalaisons ; Lozeran écrit que « ce bouillonnement universel de toutes ces matières entremêlées [...] ne peut point subsister, qu'il ne se forme par tout des tourbillons assez

considerables de ces matieres ainsi-mêlées plus grands en un endroit, plus petits en un autre ». Ces tourbillons se gênent et certains « superieurs en force s'étendent & se grossissent » au détriment d'autres qu'ils entraînent avec eux et forcent à tourner autour de leur centre.

Ces mouvements circulaires causent « des separations des petits tourbillons heterogenes, & des conjonctions de petits tourbillons homogenes ». Ces « séparations » et « conjonctions » s'opèrent en vertu des différences entre les forces centrifuges des mouvements circulaires des grands tourbillons compris dans les nuages¹. Ainsi, les tourbillons de vapeurs « homogenes » entre eux compris dans un plus grand tourbillon et moins propres au mouvement que « les autres matieres du grand tourbillon » se réunissent facilement, grossissent et perdent de leurs mouvements au point de ne plus être soutenus par les tourbillons voisins ce qui occasionne leur chute sous forme de pluies. Restent alors dans ce grand tourbillon de l'atmosphère des petits tourbillons d'air et d'exhalaisons. La séparation entre les sels et les soufres se fait plus difficilement à cause de leur « grande heterogeneité » : les sels sont hétérogènes entre eux ainsi que les soufres, et « les parties des soufres sont molles, souples & poreuses » tandis que « celles des acides ou sels sont roides, fermes, & n'ont que peu de pores ou des petits pores ». Aussi, « il ne doit point se faire de sitôt des separations des matieres restantes dans ce grand tourbillon [...] ce retardement [...] occasionne un mélange plus parfait & une union plus intime de toutes ces matières ». Les tourbillons des sels ne peuvent pas « rouler » auprès de ceux d'air et de soufres sans que « leurs parties roides & longues » et leurs « pointes » ne s'enfoncent en tournant dans ces derniers, se saisissent de leurs parties, les rompent ; par ailleurs ils se rompent aussi entre eux lorsqu'ils se trouvent trop près les uns des autres. Des lors, par ces ruptures mutuelles, les matières qui composent ces petits tourbillons « s'entremêlent » et « la matiere etherée qui bouillonne sans cesse en forme des nouveaux tourbillons, qui ne sont ni tout souffre, ni tout sel, ni tout air, mais composez de toutes ces substances ».

Ces nouveaux petits tourbillons possèdent plus de forces que ceux composés uniquement d'air, de soufres ou de sels : car, d'une part, constitués de parties hétérogènes, celles-ci s'approchent moins les unes des autres, leurs interstices comprenant ainsi une plus grande quantité d'éther laquelle « fait tout leur ressort » ; d'autre part, par ce mélange, la matière subtile agite beaucoup plus les sels par le moyen de l'air, et agite plus les soufres par le moyen de l'air et des sels qu'elle ne l'aurait fait en agissant toute seule. Ainsi, « le tournoiement ou le ressort » des petits tourbillons augmente, et donc le ressort du grand tourbillon aussi : ce dernier se dilate au détriment des grands tourbillons voisins qui possèdent moins de force, et afflue alors en son sein une quantité de matière subtile qui augmente le mouvement des petits tourbillons jusqu'à ce qu'ils acquièrent « la force nécessaire pour former un veritable feu » ce qui produit « la matiere du Tonnerre [...] dans la nuë ». Comme « la poudre à Canon éclate lorsque le bouillonnement de ses parties est devenu assez violent pour prévaloir aux obstacles qu'elle trouve à sa prompte rarefaction, ainsi la matiere du Tonnerre éclatera, lorsque des petits tourbillons seront devenus assez puissans pour rompre les obstacles » ; le grand tourbillon acquiert alors de la force grâce aux petits tourbillons de plus en plus agités par l'éther pour « vaincre les tourbillons voisins, mais encore avec ceux-là tous les autres tourbillons de la nuë. Il ne sçauroit éclater sans vaincre les uns & les autres puisqu'il butte contre tous ». Tandis que « le ressort » de ce tourbillon comprenant « la matiere du Tonnerre » croît, celui des tourbillons voisins desquels s'échappent de l'eau sous forme de pluie décroît : ce tourbillon est alors moins pressé et sa propre force ayant augmenté, il se « débande » avec « un grand fracas » à cause « de la prompte & violente compression de tout l'air environnant », ce qui produit le tonnerre (*ibid.*, p. 20-31).

1 Sans doute ces séparations et ces regroupements ne sont-ils pas étrangers à la notion de « solidité » rencontrée chez Descartes (Partie I, Chapitre I) : finalement, des corps qui possèdent la même « force » de circulation autour d'un même centre ont tendance à s'assembler, et ils se séparent d'autres ayant des « forces » différentes.

Molières invite à consulter « le R. P. Lozeran, de la Compagnie de Jesus, dans une Dissertation sur la cause & la nature du Tonnerre & des Eclairs » précisant que « ce Phisicien habile » a fait « usage du principe des petits tourbillons »¹ ; il suit alors dans ses grandes lignes le mécanisme proposé par Lozeran. Notons simplement que Molières fait agir ensemble des « molécules grasses composées de particules hétérogenes, huileuses, salines, métalliques, &c. », molécules qui forment « comme un mélange d'eau forte de différente espece extrêmement rarefiée » et dans laquelle « il s'excitera nécessairement [...] des ébullitions, des effervescences, des embrasemens » comme cela a été expliqué dans les « Leçons precedentes »². Bien que Molières n'explique pas ici les mécanismes de ces réactions, ce renvoi aux chapitres de chimie implique un recours au « ciseau universel », autrement dit aux ruptures d'équilibre de petits tourbillons et, finalement, à une conception des « molécules » qui s'éloigne de celle adoptée par Lozeran dans sa conception du feu. Pour sa part, Keranflech propose un développement sur le tonnerre et les éclairs résumant celui de Molières, notant trouver « un excellent détail dans l'Ouvrage de Mr. De Molières » de « l'explication des météores »³.

PRIVAT DE MOLIERES, BERAUD ET LA CALCINATION DES METAUX

Les recherches autour de l'augmentation du poids de certaines substances après leur calcination s'avèrent être un enjeu suffisamment important pour faire l'objet du prix de l'Académie de Bordeaux de 1747 que remporte Laurent Béraud, membre de l'Académie des Beaux-Arts de Lyon. En effet, ce sujet soulève des questionnements sur la nature même du feu⁴. Béraud et Molières expliquent cette augmentation en proposant un mécanisme basé sur les petits tourbillons.

Béraud rapporte que le feu divise et dissipe les parties des corps qui « doivent donc perdre par l'action du feu beaucoup de leur substance, & conséquemment doivent diminuer de poids : cependant l'expérience fait voir le contraire dans certaines matières »⁵. Il mentionne alors une série d'ouvrages contenant des expériences attestant de ce fait et portant notamment sur les calcinations du plomb, de l'étain, de l'antimoine soumis au feu ou à la lumière solaire⁶. Le doute ne porte pas tant sur la validité des expériences menées que sur leurs interprétations : « la pesanteur absolue d'un Corps ne peut augmenter que par l'acquisition d'une nouvelle matière : Or, d'où est-ce que le Plomb dans sa calcination peut tirer cette nouvelle matière ? »⁷

1 Molières [1737], Leçon XIII, Proposition IV, p. 324-325.

2 *Ibid.*, Proposition V, p. 344.

3 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 192.

4 Pour un compte rendu de cette question de la calcination en lien avec différentes théories du feu, voir Joly, « La question de la nature du feu dans la chimie de la première moitié du XVIII^e siècle ».

5 Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids, que certaines matieres acquierent dans leur Calcination*, Bordeaux, P. Brun, 1747, p. 1

6 *Ibid.*, p. 1-5. Béraud évoque « Mr. Boyle de flamma ponderabilitate » à savoir *New experiments to make fire and flame stable ans ponderable*, et *Additional experiments about arresting and weighing of igneous corpuscules*, *The works of Robert Boyle*, vol. VII, p. 305-316 et p. 317-322 ; N. Lémery, *Cours de Chymie*, Leyde, Theodore Haak, 1716 (11^e éd.), notamment p. 123 pour l'étain et p. 143 pour le plomb ; Molières, *Leçons de Phisique*, sur lequel nous revenons ci-dessous ; les expériences de Samuel Cottereau Du Clos d'après ce qu'en rapporte Jean Baptiste Du Hamel, *Regiæ Scientiarum Academiæ Historia*, Paris, Jean-Baptiste Delespine, 1701 (2^e éd.), p. 13-14 ; Boerhaave, *Elementa chemiæ*, t. I, p. 360-363 ; Musschenbroek, *Essai de Physique*, t. I, p. 469-471 ; Homborg, *Suite des essays de chimie. Article troisième. Du Souphre principe*. MARS 1705 (1730), p. 94-95. Notons que si ces auteurs conviennent de l'augmentation de poids – encore que Boerhaave la nie pour le cas du fer – ils n'attribuent pas ce phénomène à la même cause : pour Lémery il s'agit de corpuscules de feu qui s'incorporent dans la matière et donc de la pesanteur du feu alors que Boerhaave estime que le feu ne pèse pas.

7 Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 5.

Molières réfute que l'augmentation du poids et du volume de matières calcinées puisse procéder de la « matière ignée » qui « s'introduit dans les pores des corps »¹. Il rapporte que la calcination de 20 livres de plomb peut produire un résultat final de 25 livres, le volume calciné augmentant aussi. Cette expérience se produisant sous l'action des rayons du soleil, « au foyer du verre ardent, dont feu M. le Régent a fait le présent à l'Académie », l'augmentation du poids ne provient donc pas du combustible (bois, charbon)². Elle ne résulte pas davantage de l'air car pour en comprimer 5 livres de telle sorte que cette quantité puisse s'insérer dans les pores du plomb, il faudrait « y employer un poids énorme »³. D'où cette idée avancée par certains auteurs que « la matière qui sert à nous transmettre la chaleur & la lumière, l'action du Soleil ou du feu, étoit pesante, qu'elle étoit capable d'une grande condensation, qu'elle se condensoit en effet prodigieusement dans les pores de certains corps » calcinés dont « la teneur [...] quoique très foible, avoit nonobstant cela la force de retenir une matière ».

Mais, selon Molières, ces chimistes « ne devoient-ils pas au moins [...] constater par quelque expérience sensible, ce poids prétendu des rayons du Soleil ? » Ainsi, dans la machine à vide pompée d'air, cette matière retient-elle le « vif-argent suspendu dans le barometre à la moindre hauteur » ? Ou bien oppose-t-elle une résistance aux corps qui la traverse qui ne puisse être attribuée à l'air ? Molières répond par la négative en invoquant Newton pour lequel « cet espace qu'occupe la lumière [...] ne faisoit aucune résistance ; ce qui l'a porté à conclure suivant ses principes qu'il étoit vuide, qu'il étoit destitué de toute matière » et donc nécessairement de pesanteur. Ainsi, « personne n'a pû jusqu'à présent fournir aucune preuve légitime que la matière de la lumière qui produit la pesanteur des autres corps fût pesante ». Pour sa part, Molières considère l'espace en question rempli d'éther, qu'il estime sans résistance, et qui est la cause de la pesanteur tout en ne pesant pas.

L'éther est le « véhicule » de la lumière et de la chaleur ; transmettant l'action d'une infinité d'objets la matière subtile « doit nécessairement remplir tout le vaste espace qu'il [l'univers] occupe, & [...] par conséquent elle ne [peut] jamais être plus dense en un endroit qu'en un autre ». Ainsi, la plus grande intensité d'un son en un endroit ne résulte pas d'un air plus dense en ce lieu qu'en un autre, mais de la plus grande mobilité de ce milieu et ce jusque dans ses moindres parties ; de même, ce qui fait que « la lumière est plus vive, plus dense si l'on veut » au niveau du foyer d'une lentille ne provient pas d'une plus grande compression ou plus grande quantité de matière subtile, mais de vibrations plus fréquentes et transmises simultanément en plus grand nombre. S'il faut soutenir cette idée selon laquelle la « force » ou la « densité » de la lumière et de la chaleur procèdent de variations de densité de l'éther, selon Molières toute la « Physique générale » de Descartes, Huygens, Malebranche se voit

-
- 1 Molières [1737], Leçon XI, Proposition V, p. 155. Cette interprétation est assez largement partagée au tournant des XVII^e et XVIII^e siècles : telles sont les positions notamment de N. Lémery et Boyle ou celles des académiciens Homberg et L. Lémery. Voir Joly, « La question de la nature du feu », p. 46-48 ; Principe, « Wilhelm Homberg : Chymical Corpuscularianism and Chrysopœia in the Early Eighteenth Century », dans *Late Medieval and Early Modern Corpuscular Matter Theories*, éd. Christoph Lüthy, John E. Murdoch et William R. Newman, Leiden, Brill, 2001, p. 544-545. Selon Lémery les pores d'un corps soumis au feu se dilatent, « des parties de feu » s'y introduisent alors et, lorsque son action cesse, « les pores se rétablissent », ils « s'affaissent », ce qui entraîne que « les petites parties de feu [...] s'y trouvent tout d'un coup emprisonnées », L. Lémery, *Conjectures et reflexions*, p. 410. Lémery montre que la matière insérée dans les corps possède les mêmes propriétés que le feu, établissant alors qu'il s'agit bien de celui-ci ; ainsi, la dissolution de « corps pierreux ou salins » par l'eau « échauffée » celle-ci, preuve qu'il y a du feu. Ce rapprochement entre les effets normalement dévolus au feu et ce qui s'observe pour les corps calcinés suggère « d'attribuer ces effets aux parties mêmes du feu qui ont été retenues dans ces corps », *ibid.*, p. 404-405.
 - 2 Molières [1737], Leçon XI, Proposition V, p. 157. L. Lémery, *Conjectures et reflexions*, p. 402-403 évoque le même argument. Voir aussi Homberg, *Suite des essais de chimie. Article troisième*, p. 94-95, que Lémery mentionne dans son mémoire, Homberg qui rapporte ses expériences de calcination du « regule de Mars » en poudre avec « le grand verre ardent de Monseigneur le Duc D'Orleans », dans lesquelles « aucune autre matière ne l'a [le régule] pû toucher » et donc où seule la lumière explique la modification du poids. Pour ce même argument, voir Musschenbroek, *Essai de Physique*, t. I, p. 470.
 - 3 Molières [1737], Leçon XI, Proposition V, p. 157-158.

renversée, et les « Chimistes » pour rendre raison d'un seul « effet particulier [...] anéantiront d'un seul coup le travail de cent années ». L'espace rempli d'éther ne serait donc plus homogène ce qui entraînerait des singularités dans les phénomènes physiques. Ainsi, la matière ignée ne peut pas être plus dense dans un lieu que dans un autre, et elle ne l'est pas davantage dans les pores des corps calcinés ; Molières qualifie ce feu de « pure chimere »¹ faisant partie de ces « principes imaginaires » dignes des « qualités occultes » des Anciens². La « matière ignée » est à ses yeux une hypothèse superflue et infondée, l'explication des augmentations des poids du « régule d'antimoine » (antimoine), de l'étain, du plomb et du mercure doit s'opérer à l'aide des principes et méthodes mis en place dans les *Leçons* et ainsi illustrer cette méthodologie générale prônant une économie de principes.

Molières observe que l'air ne touche pas moins les matières soumises à la calcination que la lumière ne le fait. Or, « les molécules de l'air en vertu de leur mouvement circulaire, peuvent entraîner autour d'elles, & dans les pores ou intervalles qu'elles laissent entr'elles, les molécules de l'eau, de l'huile, des sels &c. »³ : l'air contient dans ses pores des tourbillons d'eau qu'il apporte au sel de tartre afin d'en expliquer la dissolution comme il a été exposé ci-dessus ; il pourrait aussi déposer des corpuscules lors de la calcination du plomb ce qui justifierait l'augmentation apparente du poids du métal. Ainsi, au voisinage d'un vase chauffé contenant du plomb, le feu « éloigne & chasse » les molécules d'eau des pores de l'air qui ne « soutiennent » alors plus les matières « plus denses, plus pesantes & en même temps plus subtiles, qui étoient contenuës dans les pores de l'air parmi ces mêmes molécules d'eau » ; ces matières tombent par leur propre poids des pores de l'air et se joignent au plomb. Molières écrit aussi que le feu chasse les tourbillons d'eau des pores de molécules d'air, que ces dernières deviennent alors plus grandes, et ainsi que « leur vertu dissolvante aura diminué » (autrement dit, leurs forces centrifuges) ce qui les rend d'autant incapable de soutenir les matières pesantes. Puis, le volume d'air « promptement rarefié » devenant plus léger « montera, & cédera sa place avec la même vitesse à un nouvel air qui déposera de la même façon les molécules pesantes qu'il contient ; & ainsi de suite »⁴.

Ainsi, la chaleur provoque un « éloignement » de l'eau et une augmentation de la taille des tourbillons d'air : ceux-ci sont davantage agités à cause de la chaleur, ils possèdent plus de force centrifuge ce qui les agrandit, agrandissement finissant par diminuer l'intensité de ces forces : ils perdent « leur vertu dissolvante » c'est-à-dire la capacité à entraîner des matières solides lesquelles finissent par tomber. Molières n'explique ni l'« éloignement » ni l'augmentation de taille de l'air et le lecteur en est réduit à des conjectures à partir des principes jusqu'à présents proposés par l'auteur : puisque les molécules d'huiles sont les intermédiaires à l'action du feu sur les corps sensibles, ce feu les animerait sans toutefois qu'elles ne se transforment en air, mais à tel point qu'elles agiteraient davantage les tourbillons d'eau – l'huile agit sur l'eau et pas immédiatement sur l'air puisque l'ordre de ses tourbillons est plus proche de celui des tourbillons de l'eau – qui s'agrandissant seraient plus légers – ils posséderaient moins de forces – ceci entraînant en retour une expansion de l'air qui ne serait plus équilibré. Quoi qu'il en soit, le feu entraîne une rupture d'équilibre dans l'air qui en retour fonde l'explication de l'augmentation de la pesanteur de métaux calcinés. Beraud développe une explication proche de celle de Molières.

Tout d'abord, Beraud récuse que des « parties ignées » puissent être la cause recherchée. Il estime que quel que soit le « Système » adopté concernant la nature du feu, ce dernier possède les propriétés propres à tous les corps, à savoir l'impénétrabilité et la pesanteur, mais que

1 *Ibid.*, p. 158-167.

2 *Ibid.*, Proposition VI, p. 168.

3 *Ibid.*, Proposition IV, p. 150. L'air contient des sels, des soufres ce dont témoigne la formation des éclairs, voir ci-dessus.

4 *Ibid.*, Proposition VI, p. 175-176.

cette dernière « ne s'est point encore manifestée par aucun effet sensible »¹. Il évoque Boerhaave, la marquise Du Châtelet et Voltaire faisant du feu une « substance élémentaire », un « être simple qui ne se change en aucune autre substance, & aucune n'est changée en lui »². Béraud se montre critique à l'encontre des deux premiers auteurs lesquels reconnaissent au feu un statut intermédiaire entre matière et esprit, et demande si « le feu, dans ce Système, est une substance élémentaire ; [...] en est-il moins pour cela un Corps, une matière ? » Toutes ses propriétés attestent que tel est bien le cas : il est « étendu » ; « divisible » ; « impénétrable, puisqu'il heurte, il choque contre les parties des corps solides, & par son action il les désunit ». Il ne saurait produire ces derniers effets sans être impénétrable et même « grave & pesant ; car enfin il ne peut agir sur les Corps que par sa force, & sa force ne peut être que le produit de sa masse par sa vitesse. Le feu a donc une masse ; il est donc grave ». En vain chercherait-on à faire du feu agissant une substance à part en s'appuyant sur le fait que l'âme agit sur le corps : contrairement au feu « elle n'agit point par choc, par percussion & selon les lois générales du mouvement, mais seulement elle détermine tel ou tel mouvement comme cause occasionnelle » (*ibid.*, p. 9-10). Possédant les propriétés des autres corps, le feu est de nature corporelle et doit peser. Béraud observe alors que des savants supposent que

le feu soit un mixte composé de sels volatils, de soufre, d'air, de matière éthérée, dont les petites parties étant désunies & intimement mêlées, sont agitées par un mouvement continu de tourbillon qui fait tourner toutes les parties de ces substances, chacune autour de son propre centre, & plusieurs ensemble autour d'un centre commun. C'est le sentiment le plus accrédité, le plus prouvé, & ce me semble, le plus conforme à l'expérience (*ibid.*, p. 10).

Cette conception, bien que Béraud ne le mentionne pas, correspond à celle rencontrée chez Lozeran du Fesc. Béraud estime que supposer le feu d'une telle nature revient à le considérer pesant puisqu'il possède les propriétés de ce qui le constitue : les « parties salines & sulfureuses » sont pesantes et impénétrables, le feu l'est donc aussi (*ibid.*, p. 10-11)³.

Pour autant, cette pesanteur, seule « la raison [...] l'apprend, & non l'expérience », Béraud soulignant son caractère « insensible », et affirmant que « ce ne sont point les parties de ce feu, qui pénétrant les Métaux, augmentent par leur pesanteur le poids de ces mêmes Métaux calcinez » car ceci est contraire à « la nature du feu & à l'expérience ». A sa « nature », car le feu, « le plus terrible dissolvant », est bien plus capable de diminuer le poids d'un corps par « la dissipation » de ses parties que d'en augmenter la masse. Si la calcination de 100 livres de plomb produit 110 livres de chaux et qu'il faut imputer ce supplément à des « parties ignées », « par quelle force secrète cette cendre peut-elle retenir dans ses pores une aussi grande quantité d'un élément si violent ? » (*ibid.*, p. 11). Puis des expériences semblent contredire que le feu s'insère dans ces matières et infirmer qu'il puisse causer cette augmentation de pesanteur. Ainsi, par exemple, le feu qui se serait inséré dans les métaux calcinés « n'éclaire pas » et « n'échauffe pas », Béraud rapportant sur ce dernier point « les expériences de Mr. Muschenbroëk faites avec le Thermomètre » qui montrent que « la chaux de Plomb n'a pas plus de chaleur que l'air qui l'entourne »⁴. Puis Boerhaave montre en expérimentant avec le fer que l'augmentation de poids est nulle⁵ ; la marquise Du Châtelet fait le même constat sur du fer pesant « depuis une livre jusqu'à 2000 livres » d'après les

1 Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 9.

2 *Ibid.*, p. 9. Béraud écrit que ce « sentiment » de Boerhaave « a été remis au jour avec tant d'élégance & de force par une Dame, que ses talens & ses connoissances rendent aussi illustre que sa naissance ; par un Sçavant Philosophe, tout à la fois Physicien, mathématicien, Historien & le Héros des Poètes ».

3 Notons que Lozeran n'évoque pas la pesanteur du feu dans son mémoire.

4 Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 12. Musschenbroek, *Essai de Physique*, t. I, notamment p. 472.

5 Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 13. Boerhaave, *Elementa chemiæ*, t. I, p. 360-363.

« Pièces qui ont remporté le prix Tom. 4. pag. 102 »¹. Béraud constate aussi que si en chauffant 20 livres de plomb on obtient 25 livres de chaux, en revivifiant cette chaux par l'action du feu, de « 25. livres de chaux revivifiées on ne retire que 19. livres de Plomb » ; une « même cause » produit des « effets contraires », alors que cette nouvelle action du feu devrait aussi ajouter en pesanteur².

Par ailleurs, pour Béraud, la matière qui sert d'« aliment » au feu ne contribue pas plus que ce dernier à ce surcroît de poids : les parties « salines & sulfureuses » détachées du charbon par le feu ne se logent pas dans les pores des métaux car elles « sont tellement atténuées & subtilisées par l'extrême vitesse des petits tourbillons de feu, qu'elles s'échappent de côté & d'autre » ; puis à une plus grande « subtilité » de l'« aliment » du feu devrait correspondre une moindre augmentation de poids, or celui-ci s'avère identique pour des feux produits différemment³.

Quelle que soit l'hypothèse adoptée concernant la nature de la lumière – propagée par l'éther ou de nature corpusculaire –, les rayons du soleil ne contribuent pas à expliquer l'augmentation de poids. Béraud reconduit ici l'argument de Molières, utilisant des mots semblables. Ainsi, les « Chimistes » utilisent la matière lumineuse pour expliquer « un fait particulier » mais celle-ci « entre essentiellement dans la disposition & la combinaison de [l']Univers ; c'est l'ame du Système du monde entier » et les propriétés que ces « Chimistes » lui attribuent – condensation, pesanteur – sont contraires à « l'arrangement » de l'univers ; en lui supposant de telles propriétés, ce sont « tous les Systèmes qu'on a imaginé jusqu'ici sont renversez » (*ibid.*, p. 16). Ainsi, dans le système du « Plein » où la propagation de la lumière résulte du « seul mouvement de vibration » (*ibid.*)⁴, de même qu'un son plus fort ne résulte pas d'un air plus « dense », si « la lumière est plus vive au foyer d'un Verre ardent » ceci ne résulte pas d'une compression ou accumulation de sa matière mais « d'un plus grand mouvement, ses vibrations y sont plus rapides & en plus grand nombre » (*ibid.*, p. 17-18). Dans l'hypothèse du « Vuide », la matière transmise par la lumière s'avérerait extrêmement pesante (*ibid.*, p. 18-20)⁵ et, répandue dans l'intégralité de l'espace, « les Corps célestes feroient donc leur révolution dans un fluide bien résistant », mais

selon la démonstration de Mr. Newton, cette résistance devoit ralentir & déranger le mouvement des Planètes : Puisque donc jusqu'ici on n'a observé dans ce mouvement ni diminution ni dérangement, il faut en conclure avec Mr. Newton, contre les sentimens des Chimistes, que la lumière n'est pas pesante & que l'espace où circulent les Planètes, est destitué de toute pesanteur ; c'est peut-être en ce sens qu'il appelle cet espace, *Vuide*, non pas absolument vuide de matière, mais vuide de matière pesante⁶.

Comme Molières, Béraud fait ici référence aux propositions des *Principes* de Newton relatives à l'impossibilité du mouvement des astres dans le plein cartésien. La fin de la

1 Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 13. Du Châtelet, *Dissertation sur la nature et la propagation du feu*, p. 104.

2 Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 14. Voir Lémery, *Cours de Chymie* (1716), p. 143-144 et Molières [1737], Leçon XI, Proposition V, p. 156-157.

3 Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 15 évoque des expériences de Boyle calcinant de l'étain « sur des charbons ardents, à la flamme de soufre & à celle d'esprit de vin » : bien que ce dernier soit « plus subtil, plus spiritueux » que le premier car « purifié de tout phlegme & de toute partie grossiere », il se produit « des augmentations de poids [...] à peu près les mêmes ».

4 Béraud évoque ici Descartes, Malebranche et Jean (II) Bernoulli. Sur la nature de la lumière et sa propagation chez Bernoulli, voir le chapitre suivant.

5 Béraud rapporte que « 4 onces » de régule d'antimoine que Homberg soumet aux rayons lumineux passant à travers le « Verre ardent » acquièrent « 3 dragmes » en l'espace d'une heure. Homberg se sert d'un verre de 136627 lignes carrées de surfaces qui reçoit donc un poids de 3 dragmes ; en 1 heure, sur 8 toises carrées il tombe alors 1 livre de Paris et 4 dragmes. Connaissant le rayon terrestre et donc la demi-surface de la terre, cette dernière reçoit en 24h un total de 207708197307180 livres. Le diamètre de l'« orbe » terrestre étant 22000 fois plus grand que le rayon de la Terre, on connaît la surface de l'orbe et donc le poids de lumière qu'il reçoit : en 18 jours le poids total égale la masse de la Terre. Voir Homberg, *Suite des essais de chimie. Article troisième*, p. 94.

6 Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 20.

citation montre qu'il considère que l'absence de résistance signifie absence de pesanteur mais pas nécessairement absence de matière : il rejoint ici la thèse de Molières¹ et cet extrait est proche des propos de Molières rapportés plus haut lorsqu'il évoque Newton pour lequel l'espace où se propage la lumière ne résiste pas. La lecture des *Principes* conduit Béraud à soutenir que Newton juge la lumière de nature corporelle tout en ne lui conférant pas de pesanteur. Tout d'abord, Béraud observe que Newton « semble douter » dans le Livre I, « Scholie de la Prop. 96. L. I. », que « les rayons du Soleil [soient] des Corps » ; Newton écrit qu'il ne s'« embarasse point de la nature des rayons [...] s'ils sont matériels ou non »². Puis Béraud ajoute que Newton dans sa Proposition 40 du Livre II « explique sa pensée » : Newton écrit que « les espaces célestes dans lesquels les globes des planètes & des comètes se meuvent sans cesse librement en tout sens sans aucune diminution sensible de leur mouvement doivent être vuides de tout fluide corporel, si on en excepte peut-être quelques vapeurs très-légères & les rayons de lumière qui les traversent »³. Béraud commente alors que pour Newton « ces vapeurs & ces rayons [...] sont des fluides de matière, mais qui doivent être distingués des autres fluides corporels, parce que ceux-ci sont pesans & résistans, & les autres ne le sont pas »⁴.

Puis, c'est encore manifestement de Molières dont Béraud s'inspire pour rejeter que l'augmentation de 5 livres lors de la calcination de 20 livres de plomb provient de la pesanteur l'air en soulignant l'énorme compression que cela requiert⁵. Enfin, cette augmentation ne saurait provenir de « particules détachées, par l'action du feu, des vases où se fait la calcination ». Tout d'abord parce que les vases dont on se sert ordinairement n'ont tout simplement pas le poids de ces augmentations et, s'ils l'avaient, ils seraient « réduits à rien » par l'action du feu. Ensuite, parce que Boyle a brûlé les plats et récipients servant à la calcination en montrant qu'ils pèsent davantage après calcination⁶.

Suit alors la véritable cause de l'augmentation qui « provient des Corps étrangers répandus dans l'air, qui par l'action du feu se réunissent aux parties des Corps calcinez »⁷. Béraud établit tout d'abord que cette « matière hétérogène » renfermée dans les pores de l'air est en quantité suffisante pour l'explication du phénomène. Il note que les corps détachés de la surface terrestre se répandent dans l'atmosphère sous forme de « vapeurs [...] qui tiennent de la nature de l'eau » et « d'exhalaisons » comprenant « les particules salines, sulfureuses & spiritueuses ». Il souligne aussi que les expériences de Boerhaave et de Molières montrent que le sel de tartre se charge d'eau tirée de l'air, jusqu'à deux fois son poids pour le premier, une fois pour le second⁸. Bien que ces vapeurs ne contribuent pas à l'augmentation du poids lors

1 Voir Partie II, Chapitre II.

2 Newton, *Principes*, TMC, I, Prop. XCVI, p. 239-240.

3 *Ibid.*, Livre II, Prop. XL, p. 393.

4 Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 20.

5 *Ibid.*, p. 5 renvoie à Molières [1737], Leçon XI, Proposition V, p. 157. Béraud remarque Un « pied cubique d'air » pèse « une once & deux gros » comme l'a trouvé Nollet (*Leçons de physique expérimentale*, t. III, p. 198) ; dans ces conditions, 5 livres d'air correspondent environ à « un espace de 64. pieds cubiques ». Ces 5 livres n'occupent « tout au plus » qu'un « volume cubique de 4. pouces de hauteur » d'après l'expérience de calcination. Or, « les espaces où l'air est condensé, sont reciproquement proportionnels aux poids qui le condensent » : ainsi, le rapport entre la force comprimant l'air en un si petit volume et celle qui le comprime à son état ordinaire en lui faisant occuper ce volume de 64 pieds cubiques doit suivre la proportion de 64 pieds cubiques à 4 pouces cubiques soit, note Béraud, de 1728 à 1 (le pied cubique valant alors 1728 pouces cubiques, il semble que la proportion doive plutôt suivre le rapport 27648 à 1). Béraud demande alors comment l'atmosphère devient si pesante à l'égard de la chaux au point de condenser et comprimer un air bien plus dans cette « poussière de Plomb » qu'elle ne le fait dans le « Plomb solide ». Au demeurant, la chaleur contribue bien plus à « raréfier » l'air qu'à la « condenser ». Voir Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 22-23.

6 *Ibid.*, 23-24. Voir Boyle, *New Experiments et Additional experiments, The works of Robert Boyle*, vol. VII, p. 308-310.

7 Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 24.

8 *Ibid.*, p. 25-26. Pour Molières, voir ci-dessus, et voir Boerhaave, *Elementa chemia*, t. I, p. 464-466. Béraud évoque aussi d'autres corps susceptibles d'augmenter leur poids en se chargeant « des parties aqueuses qui sont dans l'air » : « les Actes de l'Académie de Lipsik » de 1685 ou « Mr. Gould » montrent que l'huile de vitriol se charge « de parties d'eau » au point de doubler son poids. Voir William Gould, *Experimenta circa incrementum ponderis in oleo Vitrioli aeri*

de la calcination, « de fortes raisons [...] portent à croire qu'il y a dans l'air beaucoup plus de parties salines, nitreuses & sulfureuses, qu'il n'y a de parties d'eau », et l'abondance de ces « exhalaisons » permet d'éclaircir ce mystère de variation de poids, comme l'eau contenu dans l'air permet de comprendre la dissolution du sel de tartre ; Béraud s'appuie ainsi sur la même analogie que Molières pour fonder la possibilité que l'air apporte des corpuscules aux corps calcinés¹.

Ensuite, Béraud montre que ces matières salines etc. se réunissent par l'action du feu aux parties des corps calcinés : il écrit ne pas « faire circuler l'air de côté & d'autre », ne pas agiter « en tous sens ces corpuscules aériens », ne pas donner « aux parties internes du Plomb une vertu attractive », mais n'employer que « les simples loix du mouvement & les regles de l'Hydrostatique » (*ibid.*, p. 29). En effet, l'effet

la grande chaleur du feu, soit terrestre, soit solaire, que l'on emploie dans ces opérations, dissipe d'abord les vapeurs dont l'air est comme imbibé ; cet air déchargé des parties aqueuses extrêmement raréfié par le feu, n'a plus la force de soutenir dans ses pores les parties pesantes de sel & de nitre ; ces petites masses s'échappent de côté & d'autre [...] elles s'accumulent, elles tombent précipitamment sur les Corps contre lequel le feu agit, elles pénètrent aisément dans ses pores propres à les recevoir, & extrêmement dilatez par le feu. Les fluides tendent toujours à se mettre en équilibre, ainsi cet air environnant, dépouillé des parties aqueuses & terrestres qu'il contenoit, & devenu plus léger, s'élève aussi-tôt en haut, poussé par une couche d'air plus pesante qui lui succède : Cette seconde couche d'air plus pesante, après avoir déposé ses sels & ses autres matières solides, est obligé, comme la première, de s'échapper en haut ; à cette couche succède une troisième ; à la troisième une quatrième, & ainsi de suite (*ibid.*, p. 31)².

Un tel mécanisme s'avère conforme à plusieurs expériences. Ainsi le physicien Nicolas Hartsoeker voit « voler quelques petits flocons de cendre sur la superficie de l'Or [soumis à la fonte], qui tout à coup se fondoient & disparaissoient » : Béraud identifie ceux-ci aux sels et soufres aériens détachés de l'air. Etienne François Geoffroy, lors de la fonte de l'étain placé au foyer d'un « Verre ardent », observe que « sa surface [...] se couvre d'une chaux blanche » ; or, d'où vient cette « chaux » alors que le métal est encore en fusion « si ce n'est des sels & des soufres aériens ? » Béraud évoque aussi des observations Du Clos concernant la calcination du régule d'antimoine : « il aperçut des petits filaments de matière de couleur cendre, qui venoient continuellement s'attacher aux parties de ce Minéral ». Béraud remarque alors que Duclos n'explique pas l'augmentation du poids de l'antimoine par les « substances ignées » mais qu'il « ouvrit le sentiment que nous avons suivi » : selon Du Clos, l'air qui « coule incessamment vers les endroits où le feu agit plus fortement » laisse sur les parties embrasées des « parties sulfureuses » qui se fixent, forment ces filaments dont la réunion

exposito, una cum inventis quibusdani novis Hygroscopicis, Acta Eruditorum Anno MDCLXXXV, Leipzig, J. Grossium & J. F. Gletitschium, 1685, p. 315-317.

- 1 Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 26-27. Sur la « présence » et la quantité des exhalaisons Béraud note que comme toutes eaux exhalent des vapeurs, que des corps terrestres s'exhalent des « corpuscules » ; qu'en altitude, « il y a assez de molécules d'huiles, de sels, de nitre pour produire les tonnerres, les éclairs & autres météores enflammez » et donc à plus forte raison l'air plus proche de la surface de la terre se charge de ces molécules et les soutient, car plus dense et comprimé il possède plus de force pour se charger des parties terrestres plus pesantes ; ou encore que les sels aériens fertilisent les terres, que les végétaux tirent leur substance des huiles, esprits et sels dans l'air, *ibid.*, p. 27-28.
- 2 La répétition d'un tel processus peut assurer ce supplément déjà mentionné de 5 livres aux 20 livres de plomb calcinés alors même que les matières solides dans « un pied cubique » d'air ne peuvent exister qu'en petites quantités. En effet, les pesanteurs spécifiques entre le nitre, le soufre et l'air sont environ dans un rapport 1800 à 1. Ainsi, dans « un pied cubique » d'air, on ne trouve pas une 1800^e partie de matière solide car, autrement, la pesanteur absolue de l'air ne proviendrait que de ces matières solides ; il faut donc dans ce volume « beaucoup moins que $\frac{1}{1800}$ de Corps solides & pesans : De là on voit que 5. livres de particules salines & nitreuses ne peuvent être contenues que dans un espace d'air très-grand », *ibid.*, p. 29.

explique le surcroît de pesanteur (*ibid.*, p. 31-32)¹. Enfin, les différences expérimentales observées lors de la calcination des métaux – certains perdent leur poids, d'autres l'augmentent et ceci diversement – s'expliquent par des différences de nature : « plus les parties qui composent un Corps, ont de tenacité entr'elles, plus ces parties sont fixes, moins aussi ces Corps perdent sur le feu de leur propre substance » ; ainsi « le feu doit faire entrer dans leurs pores plus de matière aérienne, qu'il ne dissipe de leur propre substance »².

Béraud mentionne Molières à propos de données expérimentales concernant la pesanteur du plomb calciné et l'hydratation du sel de tartre. Puis, comme Molières, il évoque l'autorité de Newton pour soutenir que la thèse de la pesanteur de la lumière n'est pas fondée. A cette occasion, Béraud évoque l'existence d'une matière subtile qui ne pèse pas et ne résiste pas à l'instar de Molières. Il rejette aussi la possibilité que la matière calcinée agisse par « une vertu attractive » qui entraînerait des corpuscules situés dans l'air et privilégie un mécanisme basé sur l'éther et l'impulsion. Ce rejet d'une « vertu attractive » concerne aussi l'explication de l'augmentation du poids du sel de tartre qui, comme nous l'avons vu, est basée chez Newton et Boerhaave sur des forces attractives : Béraud se place indéniablement dans le système du plein et des actions par contact.

Mais bien que ses principes explicatifs rendant compte de l'augmentation de la pesanteur s'avèrent proches de ceux de Molières, Béraud ne recourt pas explicitement à des petits tourbillons, et en particulier ne précise pas si l'air se compose de ceux-ci. Pour autant, pour Béraud l'air est un fluide qui est plus « dense », plus « comprimé » au niveau du sol ce qui fait qu'il peut « soutenir les parties terrestres [sels, huiles etc.] qui sont plus pesantes » ; ceci pourrait s'expliquer par le fait que les tourbillons d'air plus comprimés possèdent des forces centrifuges de plus grandes intensités. Par ailleurs, « les fluides tendent toujours à se mettre en équilibre », équilibre dont on pourrait penser qu'il est produit par l'action de petits tourbillons³. A l'appui de ces arguments, Béraud place explicitement ses explications des phénomènes magnétique et électrique dans le cadre de la théorie des petits tourbillons et il introduit ceux-ci en tant qu'ils permettent de rendre compte de l'élasticité de l'éther par leurs forces centrifuges⁴. Enfin, Béraud fait sienne la conception du feu proposée par Lozeran du Fesc elle-même fondée sur des tourbillons⁵.

COHESION ET FLUIDITE DES CORPS SENSIBLES

« PARTIES INTEGRANTES » ET FLUIDE COMPRIMANT

Le troisième élément de Molières diffère des deux autres en ce que « ses parties ne sont pas en petits tourbillons, mais en repos les unes auprès des autres »⁶ ; ceci donne naissance à des « globules » qui composent notamment les « molécules » d'air, d'eau, des sels etc. Comme souligné, ces corpuscules proviennent de la perte de « plusieurs petites parties » de matière de petits tourbillons qui s'agglomèrent entre elles⁷. La cohésion de cet assemblage de

1 Voir Hartsoecker, *Sur la vitrification de l'Or*, HARS 1707 (1709), p. 30-31 ; E. F. Geoffroy, *Experiences sur les Metaux, faites avec le Verre ardent du Palais Royal*, MARS 1709 (1733), p. 162-176 ; pour Du Clos, voir Du Hamel, *Regiæ Scientiarum Academiæ Historia*, p. 14.

2 Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 33-34.

3 *Ibid.*, p. 27 et p. 31.

4 Pour le magnétisme et l'électricité chez Béraud, voir Partie II, Chapitre IV.

5 Remarquons que Béraud développe une physique des petits tourbillons mais qu'il rejette que les planètes soient emportées par des tourbillons célestes, et qu'il fait de la loi de l'attraction de Newton une loi divine tout en récusant que les espaces célestes soient vides. Voir Crépel et Schmit, *Autour de Descartes et Newton*, p. 97-100, p. 273-322, p. 385-389.

6 Molières [1734], Leçon V, Proposition III, p. 328

7 Molières [1736], Leçon VI, Proposition III, p. 19-20 et Proposition IV, p. 25-27. Voir ci-dessus pour la formation de ces globules.

matière est assurée par la compression de l'éther et ceci donne naissance à ce que Molières nomme la « dureté première » : il s'agit de la matière réunie au centre et à la périphérie de petits tourbillons¹. Ces particules possèdent des « grosseurs », des duretés et des densités variables, et leurs pores sont remplis de petits tourbillons². La réunion de ces « globules » forme les corps sensibles, la cohésion de ceux-ci définissant la « dureté seconde »³. Keranflech reprend ces terminologies et conceptions : la « dureté première », c'est « lorsque dans un petit tourbillon, de quelque ordre que ce soit, il nage de petites particules qui n'ont pas la forme de tourbillons, elles sont rabattues vers le centre par la mécanique de la pesanteur ; elles y forment une masse centrale comme une planète, laquelle est retenue de toute part par son propre tourbillon, & a ainsi une consistance qui n'en suppose point d'antérieure, & qui par conséquent est elle-même un élément de dureté »⁴. Par « dureté », il faut entendre « tenacité », « adhérence » des parties, qui tant au niveau microscopique que macroscopique résultent de l'action d'un « fluide subtil » élastique comprimant⁵.

Un métal diffère d'un minéral en ce que le premier possède « plusieurs pores de différente espèce, les uns beaucoup plus petits que les autres » : il se compose alors de « parties solides [...] beaucoup plus petites », ce qui signifie qu'une « particule sensible de métal peut être divisée & subdivisée plusieurs fois sans cesser d'être ce qu'elle étoit avant cette division »⁶. Cette structure explique notamment l'opacité des métaux, et qu'à volume égal ils pèsent bien plus que toute autre matière. Ces pores de tailles variables contiennent des « molécules d'huiles plus ou moins développées » et la « moindre particule sensible des métaux [est] composée d'autres particules insensibles, environnées de molécules d'huile [...] & ces premières molécules de métal [sont] encore composées d'autres particules encore plus petites, environnées de molécules d'huile encore plus fines ». Ces molécules d'huile contribuent à la cohésion du métal : elles « font équilibre avec le premier élément » et ce milieu « tient les parties métalliques comprimées les unes aux autres »⁷. Molières révoque alors l'explication donnée par Descartes de la dureté fondée sur la force de repos, ainsi que les thèses selon lesquelles l'unité d'un corps proviendrait des forces internes de ses constituants, soit d'une « vertu d'adhésion » qu'il qualifie de « cause métaphisique »⁸.

Mairan et Lozeran évoquent les « parties integrantes » d'un corps comme particules qui « entrent dans sa composition selon le dernier degré de division actuelle »⁹. Mairan fait usage des figures « longues » de l'eau¹⁰, de celles « grosses », « rameuses », « polies » du mercure

1 *Ibid.*, Proposition VII, p. 46-47 : si « on considère que les parties de la Terre sont poussées au centre de son tourbillon par le fluide environnant, qui tend à s'en écarter de toute part, à cause de l'élasticité de ses parties, que celles de la Terre, qui ont perdu la forme de petits tourbillons, ne peuvent balancer ; on pénétrera aisément la raison pourquoi ces mêmes parties de la terre composent un corps dur : un corps dans lequel on doit éprouver de la difficulté lorsqu'il s'agit d'en séparer les parties selon la direction du centre à la superficie. A plus forte raison comprendra-t'on que les globules renfermés dans nos petits tourbillons, seront des corps extrêmement durs, si l'on considère que l'effort que font les parties du tourbillon de la Terre pour comprimer au centre les parties dont elle est formée, n'est que comme un infiniment petit par rapport à celui que font les points des petits tourbillons pour comprimer les parties du petit globe qu'ils ont à leurs centres ».

2 *Ibid.*, Proposition VIII, p. 51-53.

3 *Ibid.*, Proposition VII, p. 51 : « la dureté de ces petits corps formés dans ces petits tourbillons & combinés entre eux, sans qu'ils cessent d'être environnés de leurs tourbillons qui est ce qui cause leur dureté, [est] le principe de la dureté des corps sensibles ».

4 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 266-273.

5 Molières [1736], Leçon VI, Proposition VII, p. 43. Molières reprend les exemples de Malebranche des expériences de Magdebourg et des plaques de marbres dans une machine pneumatique pour justifier l'action de l'éther. Voir Partie II, Chapitre I.

6 Molières [1737], Leçon XII, Proposition XIV, p. 251.

7 *Ibid.*, p. 252-256. La diversité des pesanteurs des métaux entre eux s'explique aussi par la petitesse des pores.

8 Molières [1736], Leçon VI, Proposition VII, p. 43. Concernant cette « vertu d'adhésion », selon Newton les « particules [des corps] s'attirent mutuellement par une Force qui dans le contact immédiat est extrêmement puissante » expliquant ainsi la cohésion de la matière. Voir Newton, *Traité d'optique*, p. 555 et p. 563-564. Sur cette question, voir notamment Musschenbroek, *Essai de physique*, t. I, p. 270-273.

9 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 8. Voir aussi Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 6.

10 Dortous de Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 112.

(*ibid.*, p. 37), utilise des corpuscules pointus des sels de « figures coniques ou pyramidales » et durs, semblables à « des clous, ou a de petits dards » expliquant ainsi le picotement ressenti sur le palais, mentionne les « petites lames spirales » de l'air ou écrit qu'il s'agit d'un « fluide fort branchu & fort rameux » (*ibid.*, p. 29-30). Lozeran du Fesc mentionne « les parties dures » de l'air et les suppose « un peu longues & très polies » et « très peu capable de compression »¹. Bouillet compose les mixtes de « parties insensibles ou molécules »² qu'il considère comme les « *semences* » des principes des chimistes, à savoir des acides, des alkalis, de l'eau, de la terre et du soufre. Pour cet auteur, les corps sensibles contiennent des « sels *primitifs* ou *originaires*, c'est-à-dire, une infinité de molécules extrêmement deliées, mais roides, droites, cilindriques, & capables de former en s'unissant des sels *secondaires* ou sensibles de toutes especes » (*ibid.*, p. 9-10). Bouillet attribue aussi une « figure fort irreguliere » à ces corpuscules (*ibid.*, p. 15) et estime que « l'existence de ces differentes molécules est clairement renfermée dans l'idée que nous avons des parties de la matiere, & la differente nature des mixtes, ou leurs differentes qualitez sensibles la prouvent évidemment, independamment même de l'*Analyse* des Chymistes » (*ibid.*, p. 10-11).

En attribuant à tous les corpuscules la seule forme sphérique, Molières, Launay ou Keranflech ne s'attachent pas à leurs « figures » dans l'explication de phénomènes physico-chimiques, mais davantage à leurs mouvements. Mairan, Lozeran, Bouillet ou Béraud reconduisent d'une certaine manière une chimie corpusculaire en ce sens que leurs particules mises en mouvement par l'éther agissent sur la matière par leurs formes particulières, par exemples des « pointes » qui rompent ou percent, qui provoquent des fermentations, des effervescences ou bien d'autres phénomènes³. Ils adaptent alors à un mécanisme que Molières condamne celui de Malebranche, où les petits tourbillons viennent fournir un réservoir de mouvement qui seul permet la possibilité d'une action. Mais ces différents auteurs, auxquels il faut ajouter Mazière, s'accordent sur cette idée tirée du dernier chapitre du Livre VI de *De la recherche* ou de *l'Eclaircissement XVI*, à savoir que

la consistance des parties grossieres & sensibles d'un mixte depend de la matiere subtile qui les environne, & qui les comprime plus ou moins par le mouvement rapide de ses tourbillons, selon que les parties insensibles, qui ne doivent aussi leur figure & leur consistance qu'à la compression de cette matiere, se touchent par des surfaces plus ou moins grandes, ou qu'elles contiennent dans leurs interstices plus ou moins de cette matiere qui fait par le ressort de ses tourbillons équilibre avec celle du dehors⁴.

1 Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 32-33.

2 Bouillet, *Dissertation sur la cause de la multiplication des fermens*, p. 8-9.

3 Ainsi la « figure » des corpuscules intervient dans le processus du gèle. Selon Mairan, les « corpuscules nitreux » en forme de « dards » peuvent s'enfoncer dans les « rameaux de l'air, ou entre ses lames spirales » lesquelles « embarrassées par eux » se joignent en « gros pelotons » formant un amas « plus compacte & plus dense » que l'air seul. Ceci fait écran à la chaleur et donc au mouvement que le soleil communique à la matière subtile. Or, de la mobilité de celle-ci dépend la formation de la glace ; ainsi s'explique qu'en été une rivière puisse geler à cause « du Nitre répandu dans l'air ». Mairan, *Dissertation sur la glace* (1716), p. 29-31. Par ailleurs, les différences de congélations entre les liquides résultent de la nature des « parties integrantes » : un liquide se composant de particules « plus grosses, ou plus rameuses, ou moins polies, ou plus denses, doit se geler plutôt que celui dont les parties auroient des qualitez contraires », ces particules diminuant en effet « l'activité » de la matière subtile qui rencontre à cause de ces différents paramètres davantage de difficultés à les mouvoir. *Ibid.*, p. 37-38. Le détail de la formation de la glace chez cet auteur est abordé dans les pages qui suivent.

4 Bouillet, *Dissertation sur la cause de la multiplication des fermens*, p. 12-13. Bouillet renvoie le lecteur à « la Recher. de la ver. tome 3. ch. der. du 6. Liv. & tom. 4. 16. éclaircissem. » Voir Mairan, *Dissertation sur la glace* (1716), p. 10. Voir aussi Mazière, *Traité des petits tourbillons*, p. 41 : « les tourbillons inondent de toutes parts les parties du solide, & par leurs forces centrifuges leur donnent de la consistance, & les unissent ensemble ». Mazière note que « les parties integrantes d'un corps à ressort, sont elles-mêmes de petits corps à ressort, lesquels ont encore leurs parties integrantes : Ces *secondes parties integrantes* [...] ont encore leurs pores, leurs canaux, leurs Tourbillons, toutes ces choses proportionnées à leur petitesse : Ces secondes parties sont composées de *troisièmes parties integrantes*, &c. », *ibid.* Le « ressort » résulte des tourbillons d'éther.

Ainsi, dans le prix qu'il remporte à l'Académie de Bordeaux en 1735 en abordant la question de la dureté, de la mollesse et la liquidité des corps, Lozeran écrit qu'il « embrasse » le sentiment de Malebranche et qu'il rend compte de la dureté par une « operation mécanique des petits tourbillons de la matiere étherée »¹. Nous avons vu que l'impossibilité de mettre en mouvement un corps au repos ne saurait provenir, pour Lozeran, d'une force intrinsèque à ce corps pas plus que de la volonté positive de Dieu². La dureté est l'absence de mouvements respectifs des parties d'un corps et alors « la force qui empêche les parties des Corps durs de recevoir un mouvement respectif, c'est le mouvement de quelque Corps, qui vient les choquer en sens contraire à celui, selon lequel on les pousse pour les separer » (*ibid.*, p. 36). Puisque les parties des corps résistent à la séparation « selon quelque détermination que ce soit », il faut que les « molecules » du fluide dans lesquels ils sont plongés aient des « déterminations quelconques » (*ibid.*, p. 41)³. Ce fluide n'est pas seulement une matière qui enveloppe la surface extérieure des corps, mais ce qui enveloppe aussi « tout ce qu'il y a de matiere propre dans les Corps durs, c'est-à-dire, qui les pénètrent & remplissent tous leurs petits vuides » (*ibid.*, p. 42). Il n'est pas non plus un « fluide sensible » étant donné la nécessité de pénétrer tous les « vuides » des corps (*ibid.*, p. 45-46). Ainsi, la matière étherée cause la dureté, et toutes ses parties ne sauraient être animées d'un mouvement commun selon une même direction car l'éther ne s'opposerait qu'à la séparation des parties dans le sens contraire à son mouvement, or, il s'oppose aux séparations selon « quelque maniere & selon quelque sens ou determination qu'on veuille les separer » (*ibid.*, p. 51). Dès lors, « les molécules de la matiere étherée, dont le mouvement fait la Dureté des Corps, décrivent par leur mouvement des lignes courbes, & forment des petits tourbillons » (*ibid.*, p. 68). En effet, Lozeran écrit que « le P. Malebranche a pensé que les parties de la matiere étherée forment partout de petits tourbillons » et que « l'auteur du traité sur la nature de l'air, qui l'année précédente remporta le prix de l'academie [autrement dit Lozeran du Fesc lui-même en 1733], l'a prouvé dans la supposition même que les petites parties de cette matiere eussent d'abord reçu un mouvement en ligne droite selon toutes les déterminations quelconques, faisant voir que ce mouvement en ligne droite n'a pas pu subsister, & qu'il a du changer en ligne courbe »; ces molécules de l'éther « ne peuvent pas se mouvoir selon toutes les determinations quelconques », ce qui est nécessaire à une compression suivant toutes les directions, « si elles ne forment pas de petits tourbillons ». Il s'ensuit que « la Dureté des Corps durs est l'effet de la force centrifuge des petits tourbillons de la matiere étherée » (*ibid.*, p. 71).

LES ETATS DE LA MATIERE

Cette « matiere étherée qui fait la dureté d'un grain d'orge ou d'un bâton » ne diffère pas de « la matiere étherée qui fait la liquidité de l'Air » car « elle n'a pas des mouvements differents autour des parties de l'Air, & autour des parties du grain d'orge, ou du bâton »⁴. La liquidité « consiste dans un mouvement respectif des parties integrantes du corps liquide, suivant toutes les directions imaginables »⁵. L'éther fait la liquidité de tout liquide par sa conformation en petits tourbillons : la liquidité suppose en effet une mobilité des « parties integrantes » selon « toute sorte de déterminations », or elle « sera plus exactement selon toutes sortes de déterminations, que lorsque ces parties formeront par tout des petits

1 Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la dureté, la mollesse & la fluidité des corps*, p. 9.

2 Voir Partie I, Chapitre III.

3 « Tous les corps durs sont plongés dans des fluides » : il s'agit là d'une « demande », Lozeran écrivant qu'« il n'est gueres de physicien qui n'en convienne », *ibid.*

4 Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 22.

5 *Ibid.*, p. 17. Voir Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la dureté, la mollesse & la fluidité des corps*, p. 116.

tourbillons »¹. Par ailleurs, pour qu'une matière conserve cette liquidité, il faut que ses mouvements internes perdurent et seuls les petits tourbillons assurent la conservation d'un mouvement². La perte de liquidité entraîne alors l'agglomérat des « parties integrantes ». *A contrario*, les molécules d'huile au sein d'un métal soumis à l'action du feu contribuent à sa liquéfaction : elles acquièrent un plus grand volume car le feu donne du mouvement à ces petits tourbillons ce qui entraîne un gain d'effort centrifuge qui les fait s'aggrandir, et ainsi elles « soulèvent aussi-tôt les particules métalliques & les détachent les unes des autres » conférant « un plus grand degré de mollesse » jusqu'à ce qu'elles « obligent les particules du métal à circuler sur leurs superficies, & à former enfin un tout liquide »³. De tels principes constituent la base de l'explication de la formation de la glace, laquelle permet d'illustrer la manière dont les corps sensibles acquièrent différents états.

En effet, dans sa *Dissertation sur la glace* primée par l'Académie de Bordeaux en 1716, Mairan écrit que la « fonte » de matières solides causée par un miroir ardent n'est qu'une sorte de « degel », et la « dureté » qu'elles recouvrent après refroidissement une sorte de « congélation »⁴. Les deux processus ne résultent que de variations de la quantité et de la « force » de l'éther résidant dans les interstices des corps. Tout d'abord, la matière subtile comprime les « parties integrantes » d'un liquide assurant alors leur dureté (*ibid.*, p. 10) ; celles-ci « y nagent, y glissent », et le « plus ou le moins de cette matière [subtile] enfermée dans un liquide, selon qu'elle a plus ou moins d'agitation & de ressort [...] fait principalement le plus ou le moins de liquidité » (*ibid.*, p. 11). Cette mobilité n'entraîne pas la dissipation du liquide. En effet, la matière subtile en son sein possède moins de vitesse que celle du dehors puisqu'elle y rencontre des obstacles à son mouvement, « obstacles d'autant plus considérables que la densité du liquide est plus grande, que ses parties integrantes sont plus grosses, qu'elles ont plus de surface, & que ces surfaces sont moins glissantes » (*ibid.*, p. 17). Mais ce qui se perd en vitesse pour la matière subtile « est compensé par une plus grande tension du ressort de ses [au liquide] molécules, lequel augmente sa force à mesure qu'il est plus comprimé ». Ainsi, l'équilibre se conserve globalement entre les « parties integrantes » du liquide que la matière subtile anime et sépare, et l'éther à l'intérieur et à l'extérieur (*ibid.*, p. 17-18)⁵.

Mairan en déduit alors le processus permettant d'obtenir de la glace (il faut « chassez » ou « diminuez [le] mouvement ou [le] ressort » de l'éther situé dans les interstices de l'eau) ou de liquéfier (« introduisez une quantité suffisante de matière subtile dans [les] pores [de l'eau], ou augmentez assez le mouvement ou le ressort de celle qui s'y trouve enfermée, pour qu'elle puisse séparer les parties qui s'unissent par leur surface ») (*ibid.*, p. 19). Dans le premier cas, une cause doit altérer la liquidité et elle provient du froid à l'origine d'une rupture de l'équilibre du milieu. En effet, la sensation de la chaleur provient du mouvement de la matière subtile communiqué aux corps (*ibid.*, p. 20). Si un récipient contenant un liquide se trouve dans un lieu qui se refroidit, la mobilité de la matière subtile extérieure diminue et « par conséquent elle ne sauroit se trouver en équilibre avec celle qui est dans le liquide & qui communique avec elle par une infinité d'issues & de pores » : moins comprimé du dehors,

1 Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 37. Voir Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la dureté, la mollesse & la fluidité des corps*, p. 126.

2 Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 38 : « le mouvement respectif ne peut se conserver dans les petites parties d'un liquide, qu'autant qu'elles forment par tout des petits tourbillons qui se contre-balançant avec des forces égales, ne s'en communiquent rien les uns aux autres, & par conséquent les gardent toujours » ; tout autre forme de mouvement implique « des chocs continuels & réitérez des parties, dans leur rencontre mutuelles » conduisant au repos. Voir aussi Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la dureté, la mollesse & la fluidité des corps*, p. 135-138. Voir Partie II, Chapitre II.

3 Molières [1737], Leçon XII, Proposition XIV, p. 253-254.

4 Mairan, *Dissertation sur la glace* (1716), p. 3.

5 Cette « plus grande tension du ressort » est probablement liée au fait que les tourbillons portent des masses (les « parties integrantes ») lesquelles compensent la diminution de vitesse dans l'intensité des forces centrifuges.

« elle doit s'échapper du côté où elle trouve moins de résistance que dans le liquide, c'est-à-dire vers les extrémités & hors du liquide » (*ibid.*, p. 22). Cette « effusion » continue « jusqu'à ce que le nombre, la tension & la vitesse des molécules » diminuent « pour demeurer en équilibre avec la matière subtile du dehors » ; les « parties integrantes » perdent alors de leur mouvement, se retrouvent moins séparées, se rapprochent en produisant des frottements. Aussi se joindront-elles, elles « s'acrocheront ou s'entrelasseront, si elles sont crochues ou rameuses », l'intensification du froid augmentant ce processus qui conduit à une plus grande densité de matière dure et à la formation d'un corps solide (*ibid.*, p. 23-24).

La diminution du nombre des interstices entre les corpuscules du fluide provient de la raréfaction de la matière subtile et de sa perte de « force » la rendant incapable de maintenir le mouvement des parties du fluide et de les tenir séparées. Ceci ne conduit pas à la formation d'un corps dépourvu de matière subtile, mais à un agglomérat de corps durs (les parties du liquide) associés par une pression environnante ; la formation de la glace exemplifie la cohésion d'un corps sensible et la manière dont il passe par degrés de la liquidité et à la dureté. Le processus requiert ce que Mairan nomme une « loi invariable », et que Malebranche qualifie de « loi générale », à savoir qu'« un corps ou un fluide pressé de tous côtés, s'échappe vers celui où il est le moins pressé » (*ibid.*, p. 50-51), cette différence de force étant issue d'une rupture de l'équilibre à l'origine de l'explication.

Keranflech développe une analogie entre la formation de la glace et celle des corps solides (minéraux ou métaux) : elle résulte du même principe, à savoir d'une perte de fluidité. A cause de celle-ci, les « globes pesans » des fluides ou d'« autres molécules solides », se rapprochent, se touchent, couvrent les petits tourbillons qui sont au sein du fluide en formant une enveloppe dans laquelle la matière subtile circule toujours, ces surfaces venant à se frotter mutuellement avec une vitesse de plus en plus diminuée jusqu'à tomber dans un « repos respectif » : « au moyen de leur contact & de la compression du milieu environnant, elles composeroient un corps dur »¹. Il existe différents degrés de dureté selon que les globules sont « compacts ou spongieux », selon le nombre de parties qui entrent en contact, selon l'ordre des petits tourbillons auxquels ils appartiennent, les tourbillons les plus petits étant ceux qui compriment le plus la matière (*ibid.*, p. 106-107)². Ces principes généraux posés, Keranflech note que « c'est ainsi qu'on peut concevoir la formation de la glace, toute sorte de congélations, la concrétion des métaux, de tous les minéraux, & de toutes les matières qui peuvent fondre ». Car le fondement de la consistance de ces corps durs provient de « l'union des globes pesans des petits tourbillons dont l'ordre leur sert de base » : chaque métal et chaque tourbillon « appartient » à un ordre de l'éther, et « on peut considérer les divers corps fusibles comme des pièces de glace de leur ordre ; ou bien, on peut considérer la glace ordinaire comme un corps fusible, un minéral qui appartient à l'ordre des tourbillons de l'eau » (*ibid.*, p. 107-108). Ainsi, la formation des métaux provient d'une perte de circulation d'un ordre de tourbillons, mais aussi de tous ou presque tous les tourbillons subalternes à cet ordre ce qui explique « l'extrême dureté, la pesanteur, la densité des métaux », alors que selon Keranflech la formation des minéraux « ne renferme point la congélation de plusieurs ordres », ces variantes expliquant des propriétés physiques différentes entre métaux et minéraux (*ibid.*, p. 109). Dès lors, à « la diversité d'éléments dans les minéraux & les métaux, répond la diversité des liquides-principes [eau, huiles, sels composés de globules pesants aux centres de petits tourbillons] : car il n'y a pas de liquide-principe qui ne puisse devenir la base d'un minéral ou d'un métal, en perdant sa matière fluide ; & il n'y a ni métal ni minéral qui ne puisse devenir une liqueur, en regagnant cette même matière dont la perte l'a rendu métal »

1 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 106.

2 A un ordre donné de tourbillon correspond un même ordre de corpuscule pesant. A chaque ordre de tourbillon répond un ordre de dureté puisque celle-ci résulte de la compression de tourbillons plus ou moins grande en fonction de leurs tailles.

(*ibid.*, p. 111). La chaîne continue des différents états de la matière sensible repose ainsi sur les petits tourbillons, principes internes de la cohésion et de la transformation des corps :

des petits tourbillons qui composent un liquide, se peuvent trouver si chargés de globules pesants, que leurs surfaces en soient toutes couvertes ; soit que ces globules pesants leur viennent d'ailleurs, soit que leur propre matière fluide venant à diminuer par quelque inconvénient, il ne leur en reste pas assez pour faire circuler les globules qu'ils contiennent eux-mêmes. Alors ces petites masses solides, qui couvrent ces surfaces, s'empêchent mutuellement de circuler, & incrustent le petit tourbillon, qui continue son tournoiement dans la concavité de sa croûte. Toutes ces surfaces incrustées s'arrêtent ensemble, & composent un solide, comme pourroit être la glace. La glace est un solide formé de l'eau ; & tous les autres solides sont équivalement des *glaces*, ou d'un, ou de plusieurs liquides. Telle est, selon cette philosophie, l'origine des corps solides. D'où l'on voit que chaque corps solide contient dans ses éléments mêmes, le principe de sa destruction, qui est le petit tourbillon central conservé sous sa croûte. Car si ce petit tourbillon vient à s'agrandir tout d'un coup, en recevant quelque augmentation de matière, par les pores de son enveloppe ; ou il fera sauter sa prison, ce qui fera une combustion ; ou il remettra ses globules à la nage, ce qui fera une fusion ; ou il produira quelque autre effet, auquel on donnera un autre nom¹.

LA « QUESTION METAPHYSIQUE »

Bien qu'affirmant, dans la *Préface* de la quatrième édition de 1749 de sa *Dissertation sur la glace*, attribuer la cohésion « aux pressions d'une matière subtile ou de ce fluide élastique qui environne les corps & qui pénètre plus ou moins dans leurs pores », Mairan juge cependant la question de la dureté « métaphysique dès qu'on veut la pousser jusqu'à ses derniers termes »². Il observe qu'en posant par « voie de demande & d'hypothèse » l'éther, il n'entreprend pas d'expliquer « le mécanisme » par lequel la matière subtile permet de fonder la cohésion car « il n'y auroit plus de fin à une pareille recherche ». En effet, si la pression de la matière subtile assemble « les éléments d'une particule d'air », et si l'air peut lier deux « hémisphères d'un globe creux » au sein duquel le vide a été fait, « quelle autre matière subtile unit entr'elles avec une force quelconque, les éléments de chaque particule de la première ? Car qui dit matière, dit parties, dont l'idée ne renferme celle d'aucun lien, à moins que ce lien ne soit composé lui-même d'autres liens, & ainsi de suite à l'infini » (*ibid.*, p. xxij-p. xxij). L'explication de la dureté par la matière subtile renferme finalement le même type de difficultés rencontrées avec des théories corpusculaires car il faut alors définir l'union de chaque partie et ce dans une régression infinie³. Mairan voit dans cette problématique la cause de la naissance de l'atomisme : « c'est apparemment de l'impossibilité d'arriver à cet infini par une semblable voie, & en quelque sorte de l'épuiser, que la doctrine des atomes ou des parties essentiellement dures & *insécables* de la matière à pris naissance » (*ibid.*, p. xxij).

Concevant la matière divisible à l'infini, Mairan s'en tient à une division de fait en tant que l'ordre de petitesse atteint permet d'expliquer des phénomènes : « il suffit que les forces actuelles du tourbillon solaire ou terrestre que nous habitons aidées de tout notre art, n'aient pu jusqu'ici nous montrer la décomposition de certains corps au-delà de leurs parties intégrantes, c'est-à-dire, au-delà de celles qui donnent ces mêmes corps par la récomposition, & sans lesquelles ils cessent d'être ce que les expériences nous indiquent manifestement ce qu'ils sont » (*ibid.*, p. xxiv). Cette position apparaît chez Rohault lorsqu'il se demande « à quoy bon, par exemple, ces longues & subtiles disputes touchant la divisibilité de la Matière ? Car quand bien mesme on ne pourroit pas décider nettement, si elle se peut, ou non, diviser à l'infini, ne suffit-il pas de

1 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 39-40.

2 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1749), Préface, p. xxij.

3 Pour ce type de critique rencontrée chez Malebranche, voir Partie I, Chapitre II.

connoître qu'elle se peut diviser en des parties assez petites, pour servir à tous les besoins qu'on en peut avoir »¹.

Mairan insiste sur la contradiction entre la « Physique » et « l'infini » ce qui lui fait juger métaphysiques certaines questions impossibles à approfondir sans recourir au Créateur : « la Physique proprement dite, & l'infini renferment des idées contradictoires. On ne sauroit approfondir ces questions abstraites, du vuide & du plein, de l'espace, de la cohésion primitive des parties de la matière, de l'origine du mouvement sans remonter jusqu'à la cause des causes, à la cause vraiment active & efficiente, en un mot jusqu'au premier Etre »². Le physicien doit alors s'en tenir à certaines « données » : « le Physicien qui ne veut point passer les bornes qui lui sont prescrites en tant que tel, peut donc hardiment regarder [...] le mouvement, la cohésion des parties de la matière, & les parties intégrantes des corps, comme autant de données, à raison du sujet qu'il traite. Il a rempli sa tâche, si, en partant de ces principes, il arrive de conséquence en conséquence, jusqu'à la cause prochaine des effets naturels qu'il s'étoit proposé d'expliquer : de même que le Mécanicien ou l'Horloger de qui nous attendions l'explication d'une horloge, est censé s'être acquitté envers nous, lorsqu'en passant de l'aiguille ou du balancier à tout le reste de la machine, il nous a conduit jusqu'au poids ou jusqu'au ressort qui en est le premier moteur ; sans s'inquiéter autrement de la cause de la Pesanteur, ou de celle du Ressort »³. Se résoudre à admettre la cohésion, tant des parties du fluide que de celles des corps sensibles, témoigne de cette difficulté que rencontre la philosophie mécanique dans sa définition de la matière et de la « dureté ». Les propos de Rohault rapportés ci-dessus sont aussi ceux de Cordemoy et l'atomisme que prône ce dernier lui permet d'éviter l'écueil de l'infini⁴. Le recours par Mairan à des corpuscules figurés n'est donc pas sans rappeler la pratique de prédécesseurs ; la pratique consistant à attribuer à ces corps une figure définie les distinguant les uns des autres, de même que celle visant à expliquer à l'aide de ces corps les différents états de la matière – grâce à l'éther entre des « parties intégrantes » – ne sont pas sans évoquer un certain atomisme⁵. Le même type de conclusion peut s'appliquer à Molières, Launay ou Keranflech lorsqu'ils utilisent des particules insérées dans les différents ordres de petits tourbillons pour expliquer des réactions chimiques en s'arrêtant à l'ordre qui « convient » à l'explication des phénomènes, particules dont l'assemblage forme les corps sensibles.

Les réflexions de Mairan soulèvent une autre difficulté. S'il s'interroge sur l'origine de la cohésion des « parties intégrantes », il ne révoque pas la thèse que la dureté puisse résulter de la pression exercée par l'éther. Or, les savants qui fondent l'existence même de ces parties intégrantes à l'aide de l'action de la matière subtile qui presse le corps et leur donne cohésion n'échappent pas à une pétition de principes : pour que l'éther puisse comprimer une matière il faut bien supposer qu'il agisse sur une surface dure, ce qui revient à supposer ce qu'il s'agit

1 Rohault, *Traité de physique*, p. iij.

2 Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1749), Préface, p. xxiv.

3 *Ibid.*, p. xxv.

4 Cordemoy, *Six discours sur la distinction et l'union du corps et de l'âme*, p. 100.

5 Nous empruntons ici ces analyses à Roux. Un « certain atomisme » en ce sens que les corpuscules ont une certaine solidité et une certaine identité, et n'ont pas ces deux caractéristiques de manière absolue – ils peuvent ainsi être plus ou moins solides, ils peuvent changer de formes – comme ce serait le cas pour des atomes : les « parties intégrantes » sont celles dont la forme et la taille suffisent seulement pour expliquer un phénomène. Dans son système, Descartes ne peut expliquer ni comment un corps peut se distinguer de ceux qui l'entourent, ni la dureté de la matière et ses différents états ; il s'agit là d'« apories » de la physique cartésienne qui ne se présentent pas dans le cadre de l'atomisme. Roux remarque que « dès le XVII^e siècle certains auteurs, y compris parmi les cartésiens, remarquèrent que la division de la matière à l'infini n'était d'aucun usage dans l'explication des phénomènes particuliers » : un certain nombre de partisans de la philosophie mécanique s'en tiennent au fait que quand « il [Descartes] explique les phénomènes, il recourt, comme les atomistes, à des atomes figurés de diverses manières et doués de mouvements variés ». Ces éléments ont pu faire que des savants fassent de Descartes un atomiste. Voir Roux, « Descartes atomiste ? », dans éd. Egidio Festa et Romano Gatto, *Atomismo e continuo nel XVII secolo. Atti del convegno internazionale*, Napoli, 28-30 avril 1997, Napoli, Vivarium, 2000, p. 211-274. Les cas de Rohault et de Cordemoy évoqués ci-dessus sont tirés de cette étude.

d'établir. Molières croît échapper à la difficulté de « la cause de la dureté première » qu'il estime découvrir dans « le mouvement circulaire » soit dans l'exercice de forces centrifuges¹ ; ceci n'explique cependant rien, et revient à postuler implicitement la dureté en soi. De fait, pour ces savants la matière est infiniment « molle », et ils suivent manifestement Malebranche qui par son rejet de la force des corps au repos de Descartes conçoit cette matière sans résistance et sans cohésion. Nous avons vu que Varignon et Saulmon se montrent conscients de la difficulté et qu'ils critiquent cette « matière molle » car elle est incapable de résister à une action et de donner naissance aux corps². Cette dénonciation, et l'admission d'un certain atomisme, ressort des propos de D'Alembert qui, en 1755, écrit que certains « attribuent la *dureté* à la pression d'un fluide ; mais comment cette pression cause-t-elle la *dureté* ? quel est d'ailleurs ce fluide ? voilà ce qu'on ne nous dit pas, ou qu'on nous explique fort mal : aussi les mêmes philosophes qui expliquent la *dureté* par l'action de ce fluide, s'en servent aussi pour expliquer la fluidité ; tant les explications vagues sont commodes pour rendre raison du pour & du contre » ; il poursuit en affirmant qu'« on ne peut guère se dispenser d'admettre dans les particules des corps, une *dureté* originaire & primitive. On a beau dire que la *dureté* vient de l'union intime des parties, il reste à savoir si ces parties sont dures ; & la question demeure toujours la même, à moins qu'on n'admette dans ces particules une *dureté* essentielle, pour ainsi dire, & indépendante d'aucune cause extérieure »³.

CONCLUSION

L'élaboration de théories de la matière se place essentiellement sur le terrain d'une critique de théories corpusculaires, lesquelles demeurent associées, notamment dans l'esprit de Privat de Molières, à la thèse cartésienne de la force de repos des corps. A cause de cette dernière, Descartes ne justifierait pas mécaniquement les formes particulières qu'il attribue aux corps pour expliquer les phénomènes. Les rejets de ce concept et des lois du choc suggèrent une révision des trois éléments cartésiens et une réforme d'une science physico-chimique qualifiée de « cartésienne » basée sur l'usage de corpuscules figurés en mouvement. Il s'agit alors de repenser les éléments de Descartes mais aussi sa conception des mixtes en suivant la voie ouverte par Malebranche. Molières et Launay n'attribuent pas de singularités de formes entre les particules et les astreignent toutes à posséder une forme sphérique. Cette uniformité est régie par ce leitmotiv d'une économie de principes conférant au mouvement circulaire un statut, sinon en théorie au moins dans les faits, aussi important que le principe d'inertie⁴.

Ce mouvement circulaire s'impose en tant qu'il assure une permanence du mouvement, et la non-multiplicité des principes conduit à un mécanisme qui se veut simple et uniforme tant pour les phénomènes célestes que pour ceux sur Terre ; les « principes » chimiques reçoivent alors une construction identique à celle des planètes emportées par les tourbillons célestes. La critique de la physique corpusculaire se fonde aussi sur les développements expérimentaux : ainsi, les expériences pneumatiques de la seconde moitié du XVII^e siècle rendent impensables, pour Molières et Lozeran, les « lames spirales » ou « parties branchues » de l'air ou encore la forme particulière des « parties intégrant » de l'eau. Non

1 Molières [1736], Leçon VI, Proposition VII, p. 49-50.

2 Voir Partie I, Chapitre III. Nous retrouverons ce type de critique dans la Partie II, Chapitre V.

3 D'Alembert, « Dureté », *Encyclopédie*, t. V, p. 172a-172b. Si D'Alembert juge que « le sentiment » d'une dureté primitive est « à plusieurs égards, le plus vraisemblable », il n'en demeure pas moins que la cause de la dureté des corps sensibles demeure inconnue (« on n'en sait rien »), le savant ne se déclarant pas « entièrement satisfait » de l'explication newtonienne de la cohésion des corps fondée sur l'attraction de corpuscules. Voir aussi « Ductilité », t. V, p. 156b, « Cohésion », t. III, p. 605b-606b et « Configuration », t. III, p. 851b-852a.

4 Dans les faits, au moins, car le principe d'inertie reste le point de départ pour comprendre l'origine du mouvement circulaire. Voir Partie II, Chapitre I.

seulement la nouvelle structure conférée aux « principes », *via* les petits tourbillons, permet d'en déduire facilement les propriétés mises en évidence expérimentalement notamment par Boyle, mais en plus elle permet de rendre compte d'observations et de réinterpréter des expériences dans le cadre du mécanisme ; ainsi de cette transformation de l'huile en eau devant justifier la grande quantité d'air contenu dans l'eau. Les « attractions » et les « répulsions » entre les constituants de la matière qui devraient expliquer la cohésion des corps ainsi que les réactions chimiques sont aussi prises pour cibles. La science de Molières n'a alors, selon son auteur, rien d'« un beau *Roman* » puisqu'il puiserait « dans les meilleures sources », celles du mécanisme cartésien réformé, et ce en comparaison de ces « merveilleuses histoires » des chimistes mobilisant des « guaines », des « pointes » ou l'« attraction » et la « repulsion »¹. L'enjeu est alors d'intégrer une série d'observations et de faits expérimentaux dans ce mécanisme réformé en rejetant une science faisant gratuitement des hypothèses – des formes particulières attribuées aux corps justifiées par des concepts superflus comme la force des corps au repos – et recourant à des principes incompréhensibles.

Les propriétés des principes et les différences entre eux s'expliquent alors par un jeu d'emboîtement de différents ordres de petits tourbillons, chacun pouvant contenir en son centre et à sa périphérie des corpuscules. Les opérations (distillation etc.) et réactions chimiques s'interprètent en termes de déséquilibres de petits tourbillons. Ainsi, pour la dissolution, soit un corps possède dans ses pores des petits tourbillons possédant des forces centrifuges d'intensité plus grande que ceux du dissolvant, et ils s'agrandissent alors au dépend de ce corps, soit ceux du dissolvant migrent là où ils trouvent moins de résistance – dans les pores des corps qui contiennent donc des tourbillons de moindre intensité – et entraînent des parties de ce corps. Les ébullitions, évaporations, effervescences, les lumières colorées observées résultent aussi des petits tourbillons et d'un continuum entre leurs différents ordres : ainsi un principe peut se transformer en un autre – l'huile dans les pores de l'eau peut devenir de l'air – et les molécules d'huiles peuvent échauffer une solution jusqu'à provoquer une inflammation et une lumière s'ils ne sont plus en équilibre avec le premier élément et s'ils commencent à équilibrer le second élément.

Molières, Launay ou Keranflech restent fidèles à cette idée que le feu est avant tout la forme que prend le mouvement des parties du corps enflammé et qu'il ne s'agit pas d'une matière spécifique. *A contrario*, les travaux Lozeran du Fesc et de Béraud tendent à lui conférer la nature d'un mixte. Il faudrait sans doute ajouter à ces deux noms ceux de Bertier² et de Mairan, ce dernier développant une théorie proche de celle de Homberg en concevant la « matière lumineuse » comme un « soufre très subtil & très agité » qui « n'est autre chose que le principe actif des Chimistes, ainsi nommé parce qu'il agit seul, & qu'il fait agir les autres », soufre auquel il confère pour sa part un mouvement en petits tourbillons³. Bien que

1 Molières [1737], Leçon XII, Proposition XV, p. 282-283.

2 Pour Bertier la chaleur et de la lumière, « propriétés essentielles du Soleil », proviennent des « frottements » auxquels est soumise la matière originelle lesquels donnent à cette matière la forme de petits tourbillons composant le soleil et les couches concentriques de matière subtile, *Physique du Ciel*, t. III, p. 460-461, p. 465 et p. 490. La lumière consiste en « des vibrations des petits tourbillons de l'éther » se propageant depuis le soleil (*ibid.*, p. 491-492, p. 493, p. 495-496, et p. 555-556). Le feu terrestre se compose aussi de petits tourbillons (*ibid.*, p. 465). Bertier identifie la « matière ignée » à l'éther en notant qu'elle n'est pas « essentiellement feu » mais le devient lorsque « la forme » lui est « appliquée » ou, autrement dit, il faut que « ses particules soient frottées fortement ou long-temps, & qu'elles reçoivent de ce frottement un tourbillonnement & des vibrations » (*ibid.*, p. 509). Le feu nécessite donc des tourbillons et des « particules », le « frottement » de celles-ci assurant sa génération, « les unes montant, les autres descendant font la mécanique de plusieurs petits fusils ou briquets », (*ibid.*, p. 420, p. 460-461 et p. 472-473). Bertier évoque des particules « sulfureuses », « nitreuses », « aqueuses », « huileuses » et « salines » pour les fumées (*ibid.*, p. 460-461, et p. 472-473) ; les particules « terrestres » et « plusieurs salines » forment les cendres (*ibid.*, p. 472-473).

3 Mairan, *Dissertation sur la cause de la Lumière des Phosphores & des Noctiluques*, p. 21. Mairan conçoit la lumière comme un « flux successif des corpuscules qui sortent du corps lumineux », à savoir du soleil, sous l'action de la pression l'éther qui l'environne (*ibid.*, p. 19 et p. 12). Il suppose le soleil composé d'une « matière très subtile, & très agitée » qui « par des boüillonnements, & des palpitations très prompts, repousse à chaque instant les compressions & les secousses de l'Ether » qui l'entoure ; la « vibration » du soleil résulte de la « contraction » et de la « dilatation » alternatives de ses

le feu, la lumière, la chaleur résultent de petits tourbillons, ceux-ci ont avant tout pour fonction d'expliquer la naissance de ces phénomènes, leur propagation – ainsi pour Lozeran le feu répond au mécanisme de fermentation proposé par Bouillet basé sur les tourbillons –, et la fluidité du feu. Mais pour ces auteurs (Lozeran, Bertier, Mairan, Béraud) ce mouvement seul ne suffit pas, il faut un mélange de réactifs, autrement dit des corpuscules qui par leurs figures particulières jouent un rôle essentiel dans l'action du feu. Bien que ces savants ne développent pas à proprement parler de théories chimiques, il semble que leur conception du feu suivant le modèle des mixtes des chimistes permet d'inférer qu'ils adoptent une chimie de type corpusculaire.

Les savants étudiés dans ce chapitre restent confrontés au problème de la conception de la matière, de la cohésion des corps et celle de leurs parties. D'où cette séparation prônée par Mairan entre la « métaphysique » et la « physique ». Mairan reconduit une dissociation déjà à l'œuvre chez des auteurs du XVII^e siècle. Si, de fait, la matière est divisible à l'infini, dans la pratique l'explication de phénomènes requiert un certain degré de division au-delà duquel il n'est pas nécessaire de pousser plus loin. Ceci vaut autant pour les « parties intégrantes » douées de formes particulières que pour des ordres de tourbillons composés de corpuscules. « Parties intégrantes » et « globules » sphériques reçoivent leur forme et leur cohésion par l'éther qui exerce sur eux une pression, et le problème de la cohésion des corps au niveau macroscopique se voit simplement transposé au niveau microscopique sans recevoir davantage de réponse satisfaisante ; comment expliquer l'action d'une pression si ce n'est au préalable se donner ce qu'on veut définir, à savoir la dureté ? Le rejet de la thèse cartésienne de la cohésion et le rejet de l'atomisme semblent conduire ces savants dans une impasse. Par ailleurs, comme souligné (Partie I, Chapitre III) et comme nous le remarquerons à nouveau (Partie II, Chapitre V), des savants critiquent la définition même de la matière originelle conçue au repos et sans force – puisque seul le mouvement donne une force –, matière « infiniment molle » qui selon eux rend impossible la formation des petits tourbillons.

Les différentes théories de la matière et celles du feu mettent en évidence qu'il serait illusoire de concevoir que ceux qui suivent la voie ouverte par Malebranche forment une école homogène. Certains prônent de ne s'en tenir qu'aux mouvements circulaires et aux corpuscules sphériques que ceux-ci forment, et approfondissent les sous-divisions en petits tourbillons au-delà de ce qu'évoque Malebranche. D'autres s'en tiennent à une vision corpusculaire et les particules reçoivent leurs mouvements de la matière subtile. Mais au-delà de la diversité des théories, l'activité de la matière et la permanence du système du monde dépendent avant tout des petits tourbillons de l'éther. Par ailleurs, le principe explicatif général des phénomènes physico-chimiques repose sur l'usage du « ciseau universel », selon la formule de Molières, qui consiste en une rupture d'équilibres de petits tourbillons. Autant d'aspects étant directement issus de la théorie de Malebranche.

parties. Lors de la contraction, « il lance la Lumière » et lors de la « dilatation » il « se remplit de la matière des couches voisines » de l'éther, matière qui remplace celle émise ; Mairan évoque l'image du fonctionnement du cœur animal (*ibid.*, p. 19). La « matière lumineuse » se compose alors de « corpuscules » qui « ne sont autre chose que de petits amas de ce fluide subtil, ou du soufre, réduits en globules, qui tournent autour de leurs centres », des globules « plus gros » que ceux de l'éther (*ibid.*, p. 24).

MECANISMES DES PHENOMENES PHYSIQUES

INTRODUCTION

Dans les pages de son *Eclaircissement XVI* de *De la recherche de la vérité* qu'il consacre à la physique, Malebranche aborde essentiellement des questions relatives à la chute des corps et à l'optique. Des domaines tels que le magnétisme et l'électricité ne donnent lieu dans le corpus malebranchien qu'à des comptes-rendus des explications de Descartes, et l'oratorien ne propose pas d'autres mécanismes qui s'appuieraient sur sa nouvelle conception de l'éther. A l'instar ce qui a été observé dans les deux chapitres précédents, à savoir que des savants rejettent la matière subtile de Descartes qu'ils remplacent par un éther composé de petits tourbillons et qu'ils réforment sa conception de la matière à l'aide de cet éther, ce qui suit montre que ces petits tourbillons sont aussi utilisés dans le premier XVIII^e siècle pour interpréter des phénomènes physiques, certains d'entre eux étant déjà traités par Malebranche, d'autres non ; ce chapitre se propose aussi de donner une analyse détaillée des explications proposées.

Tout d'abord, il n'existe pas, pour un phénomène donné, une explication unique quand bien même des savants recourraient aux petits tourbillons. Une telle diversité a déjà été observée au chapitre précédent. Ainsi, tous les auteurs ne suivent pas fidèlement les mécanismes proposés dans l'*Eclaircissement XVI* de même que ces derniers ne s'avèrent pas identiques entre eux. Au-delà de cette diversité, il existe malgré tout un certain nombre de principes et méthodes généraux qui régissent l'utilisation des petits tourbillons que cette étude vise à mettre en pleine lumière. Il s'agit alors, à travers un certain nombre de phénomènes d'examiner des récurrences, de s'attacher au lien établi entre les expériences et leurs interprétations via les petits tourbillons, de même que celui que ces derniers entretiennent avec des lois mathématisées.

Dans un premier temps, ce chapitre se propose d'examiner les mécanismes associés aux collisions élastiques et à la chute libre, lesquels reposent sur des ruptures d'équilibre entre tourbillons. Il s'agit ensuite d'analyser les phénomènes optique, magnétique et électrique qui se voient pensés à travers les variations de densités de tourbillons au sein d'atmosphères environnantes les corps solides. L'examen de la structure de ces atmosphères au sein du système des petits tourbillons clôt cette étude. La section dévolue à la chute libre traite en partie de la gravitation comme le faisait aussi le Chapitre II, Partie II, notamment avec les travaux de Bouillet et de Gamaches.

COLLISIONS PARFAITEMENT ELASTIQUES

Dans son examen de « la cause physique du ressort », Mazière examine le cas d'un choc direct parfaitement élastique impliquant des mobiles allant en sens contraires et « de forces égales », autrement dit de même quantité de mouvement¹. Lors de la collision, la matière subtile comprise dans les corps, et « qui par sa nature ne résiste point au mouvement », doit « abandonner en partie les pores comprimez » et, à mesure que le mouvement se communique successivement d'un pore à l'autre, elle migre « du côté vers lequel elle est poussée » en sortant des mobiles et en rejoignant les tourbillons du milieu extérieur. Les pores s'aplatissent et prennent une figure elliptique jusqu'à ce que les « forces primitives » des corps (leurs quantités de mouvement) s'épuisent.

1 Mazière, *Les Loix du Choc des Corps a Ressort*, p. 23.

Dès que la compression est finie, « la matière subtile [...] doit commencer à y rentrer [dans les corps] » car « dès l'instant que la compression cesse, il doit y avoir un parfait équilibre entre tous les tourbillons extérieurs & intérieurs, parce que ceux-ci cessent dans cet instant de sortir & de repousser ceux-là ; de sorte qu'un tourbillon à moitié sorti d'un pore, doit rester dans cet état, jusqu'à ce qu'il survienne quelque changement qui l'oblige de sortir ou de rentrer ». Mazière conçoit comme « évident » qu'à cet instant où se termine la compression « les forces centrifuges des tourbillons extérieurs, sont égales à celles qu'ils avoient avant le choc des deux corps » ; l'éther qui s'est échappé possède donc la même « force » que celui à l'extérieur. Le terme « équilibre » ne signifie pas qu'il existe une égalité entre les forces centrifuges des tourbillons qui sont encore dans les corps et ceux à l'extérieur, mais plutôt que la nécessité d'un équilibre implique que des tourbillons retournent dans les corps et qu'ils possèdent tous la même force centrifuge.

En effet, « les forces centrifuges des tourbillons intérieurs [résiduels] sont augmentées, parce que leurs diamètres sont diminués » par la modification des pores des corps. Alors qu'avant le choc les tourbillons internes tendaient inutilement à élargir les pores puisqu'ils étaient équilibrés par ceux externes, à la fin de la compression « les tourbillons intérieurs ont acquis des degrés de force centrifuge, & les tourbillons extérieurs n'en ont point acquis ». Ces derniers ne possèdent donc pas les forces susceptibles d'empêcher l'action des autres qui s'agrandissent et tendent alors à élargir les pores de mobiles. Par conséquent, « toute la matière qui étoit sortie des corps, y rentre successivement à mesure que les parties comprimées se rétablissent, de la même manière qu'elles ont été comprimées ; mais dans un ordre renversé », ceci expliquant alors que « les ressorts parfaits se débandent avec des vitesses égales à celles avec lesquelles ils ont été bandés » et, se débandant avec des « forces égales », ils repoussent alors les corps en leur redonnant leurs « forces primitives » (*ibid.*, p. 23-24).

Le choc implique donc une rupture d'équilibre entre les tourbillons dans et au-dehors des corps, et l'exercice des forces des plus comprimés engendre un reflux de l'éther vers les corps jusqu'à ce que l'équilibre global revienne impliquant pour les mobiles des quantités de mouvement finales identiques aux initiales. Une fois ce mécanisme posé, Mazière écrit que quelles que soient les quantités de mouvement initiales, à l'instant où la compression cesse les corps possèdent une même vitesse. En effet, l'éther sort des mobiles jusqu'à la fin de la compression et, à cet instant, les corps vont de « compagnie » sans se comprimer davantage se comportant alors suivant les règles du choc de corps parfaitement durs (*ibid.*, p. 28)¹. Les règles de collisions élastiques s'ensuivent à partir de cet intermédiaire inélastique².

Pour Molières, des corps comprimés acquièrent de la « roideur » qui ne procède que de « la force centrifuge des petits tourbillons dont ces corps solides sont composés lesquels étant contraints par la compression de changer de figure ou de devenir ovales de ronds qu'ils étoient font [...] un effort continuel pour reprendre leur première figure »³ ; ceci cause aussi « cet effort que les mobiles font pour reprendre leur première figure » après un choc⁴. Pour la collision parfaitement élastique d'un corps *A* contre un autre *B* inébranlable, Molières suppose *A* et *B* parfaitement durs avec entre eux un ressort : « la résistance du ressort peut être telle qu'à chaque instant elle soit égale au degré de force & de vitesse que le corps *A* y aura perdu », cette résistance provenant « uniquement de l'action des petits tourbillons de la matière étherée »⁵. Molières n'évoque pas davantage le rôle de l'éther dans les collisions et leurs règles. En particulier, il ne mentionne pas un flux d'éther comme Mazières mais,

1 Pour ce mécanisme, voir aussi Mazière, *Traité des Petits Tourbillons*, p. 40-46.

2 Voir Partie I, Chapitre II pour ces règles de collisions selon cette méthode.

3 Molières [1739], Leçon XVII, Proposition IV, p. 223 et Proposition XII, p. 276.

4 *Ibid.*, Proposition I, p. 196.

5 *Ibid.*, Proposition IX, p. 250.

manifestement, comme pour ce dernier, un déséquilibre entre tourbillons internes et externes – ceux-là cherchant à reprendre leur figure d'origine, autrement dit cherchant à retrouver un équilibre initial troublé par le choc – paraît fonder l'action des premiers pour justifier le rebond.

PESANTEUR : MECANISMES ET LOI DE CHUTE LIBRE

Quels rôles jouent les petits tourbillons dans les différents mécanismes de la pesanteur proposés par Bouillet, Molières, Launay, Gamaches et Keranflech, et comment permettent-ils de rendre compte de la loi mathématisée de chute libre ?

BOUILLET ET LA GENERALISATION DE LA THEORIE DE MALEBRANCHE

La première théorie de la pesanteur faisant usage des petits tourbillons après l'*Eclaircissement XVI* de *De la recherche de la vérité* de 1712 paraît être celle de Bouillet dont l'Académie de Bordeaux prime sa *Dissertation sur la cause de la Pesanteur* en 1720¹. Bouillet conçoit la pesanteur comme « le mouvement des corps vers le centre de leur *Tourbillon* » causé par « l'*impulsion* ou le *choc* de quelqu'autre corps »² et, en l'occurrence, par un « *fluide* fort subtil & extrêmement agité » (*ibid.*, p. 3-4). Cet « Ether » qui se meut circulairement avec la Terre ne peut causer la pesanteur qu'en « s'efforçant de s'éloigner » du centre de la planète. Un tel effort résulte soit du mouvement que « les petites portions ou *molecules* dont on conçoit que chaque *couche* est composée, ont toutes ensemble autour de ce centre », soit de celui « qu'elles ont chacune en même temps, autour de leur propre centre » (*ibid.*, p. 5). Bouillet rejette la première hypothèse en s'appuyant sur des arguments de Huygens (*ibid.*, p. 7-12)³. Les couches d'éther emportant les planètes donnent à celles-ci la vitesse nécessaire au respect de la troisième de Kepler ; ces couches s'équilibrent mutuellement, et Bouillet cite alors « Rech. de la ver. Tom. 4. pag. 498. & suiv. », à savoir l'*Eclaircissement XVI* de *De la recherche de la vérité* dans l'édition de 1712, là où Malebranche prouve que la loi de Kepler implique un équilibre de couche et que cet équilibre permet de retrouver cette loi (*ibid.*, p. 17)⁴. Mais selon cette loi la matière subtile au voisinage immédiat de la Terre circulerait 17 fois plus vite que cette planète (*ibid.*, p. 14-15)⁵. L'écart entre une vitesse réelle de rotation – Bouillet donne des valeurs numériques qu'il tire de chez Villemot – et une vitesse qui serait nécessaire au maintien de l'équilibre de couches permet à Bouillet de préciser la nature de ces « *molecules* » qui voisinent la surface des planètes et des astres (*ibid.*, p. 18)⁶. En effet, il ne faut pas croire qu'au niveau d'une planète l'éther dans sa circulation respecte cette loi de Kepler ou, dit autrement, ne pas croire que « les couches de la matière étherée qui circule autour de la surface de la Terre, ne portent le poids, ou ne résistent

1 Bouillet, *Dissertation sur la cause de la Pesanteur*, Bordeaux, R. Brun, 1720. Pour un résumé de ce mémoire, voir Brunet, *L'introduction des théories de Newton*, § 21.

2 Bouillet, *Dissertation sur la cause de la Pesanteur*, p. 1.

3 Sur les critiques de Huygens à l'encontre de cette hypothèse attribuée à Descartes et le débat avec Saurin, voir Partie II, Chapitre I. Parmi ces arguments, Bouillet évoque le fait que l'éther devrait emporter les corps dans sa rotation plutôt que de les presser vers le sol. Saurin, en réponse aux critiques de Huygens, supposait que grâce à la « rareté » des corps et la « subtilité » de l'éther, ce dernier pouvait ne pas emporter les corps malgré son mouvement de rotation. Or, selon Bouillet « le remède seroit bon si les suites n'en étoient pas à craindre », en l'occurrence l'impossibilité pour l'éther en suivant une telle thèse de transporter les planètes dans leur révolution, *ibid.*, p. 13-14. Sur les références de Bouillet à Saurin et à Huygens, voir p. 6, 9 à 12, p. 14.

4 Voir Partie II, Chapitre I pour la théorie de Malebranche.

5 Sur ce rapport de vitesses de 17 à 1, voir Partie II, Chapitre I.

6 Ainsi le soleil tourne sur lui-même en 27 jours et demi alors que d'après la règle de Kepler il devrait tourner en 3 heures, Bouillet renvoyant à « Nouv. Syst. ou nouv. Expl. du mouv. des Planetes pag. 70 & suiv. » soit l'ouvrage de Villemot. Pour ce livre, voir Partie II, Chapitre I.

à la compression des couches superieures & éloignées, que par la force centrifuge qui naît de leur vitesse circulaire » ; ceci vaut aussi bien pour le soleil (*ibid.*, p. 15 et p. 17-18). Bouillet voit alors dans « le mouvement *propre* des molecules de la matiere étherée » qui « supplée au mouvement *commun* des couches inferieures » la cause de la conservation « de l'équilibre entre les couches superieures & inferieures de nôtre Tourbillon [de la Terre] » (*ibid.*, p. 18). Ainsi,

la matiere étherée des couches inferieures & voisines du centre de nôtre Tourbillon n'a pû circuler au commencement avec la même vitesse qu'exige la regle de Kepler, sans que toutes les molecules ou petites portions, dont on la conçoit composée, n'ayent choqué continuellement avec toute la force centrifuge, qui resuloit de leur vitesse commune, les couches superieures qui les contraignoient de circuler, & sans qu'elles ne soient en même temps entre-choquées un million de fois, à cause du peu d'espace qu'elles avoient à parcourir, ou de la petitesse des Cercles dans lesquels elles étoient obligées de circuler. Or les molecules des couches inferieures n'ont pû choquer ainsi celles des couches superieures, ni s'entre-choquer mutuellement, qu'elles n'ayent été obligées de rejaillir & de tourner avec rapidité sur elles-mêmes pour remplir toute leur vitesse, ou, ce qui revient au même, pour reparer par leur mouvement propre les pertes de vitesse que leurs couches souffroient par ces reflexions continuelles. Et ces molecules, ou ces petits *Tourbillons*, car c'est ici une même chose, n'ont pû tourner ainsi avec rapidité autour de leur propre centre, sans qu'ils n'ayent fait effort pour s'échapper de tous côtez, ou n'ayent par leurs *vibrations* continuelles exercé une espece de *ressort*, & sans qu'ils n'ayent eû tous ensemble, à raison de ce ressort, autant de force pour soutenir les couches superieures, qu'en avoit la couche entiere dans laquelle ils sont compris, lorsqu'elle circuloit avec toute sa vitesse (*ibid.*, p. 22-23).

Ce mouvement qui va « suppléer » celui des couches voisines d'une planète pour conserver l'équilibre global de l'univers rappelle le « bouillonnement » de Villemot, et l'évocation de ces « petits *Tourbillons* » renvoie à Malebranche (*ibid.*, p. 22)¹. Dans son *Eclaircissement XVI*, Malebranche écrit que « c'est ce concours [des petits tourbillons à l'équilibre de couches] & cette réaction [qu'ils subissent au niveau de la planète] qui est la cause de la vraye pesanteur des corps grossiers »² : l'explication que Bouillet propose de la pesanteur s'avère proche de celle de Malebranche. En effet,

si l'on suppose [...] qu'un corps grossier & dont les parties n'ont aucun mouvement, est élevé au-dessus de la surface de la Terre, on verra bien que ce corps doit diminuer le mouvement de la couche spherique, dans laquelle il se trouve, d'une quantité égale à celle qu'avoit le volume des petits tourbillons qu'il a obligé à descendre, en prenant leur place ; & que cette couche doit par consequent resister moins à l'effort des couches inferieures, ou, ce qui revient au même, qu'elle doit les repousser avec moins de violence vers le centre de la Terre. Or les couches inférieures ne peuvent pas être repoussées avec moins de violence vers le centre de la Terre, que leurs petits Tourbillons ne se debandent, & qu'ils ne s'élevent en ligne droite vers l'endroit où ils trouvent moins de resistance ; c'est-à-dire au dessus du corps grossier. Car enfin ces Tourbillons ne peuvent point exercer leur ressort, ou s'échaper vers le centre de la Terre, à cause que ce centre est également comprimé de tous côtez par la couche spherique qui l'environne : ils ne peuvent point aussi se debander par les côtez du cercle que leur couche décrit autour de ce centre, à cause de l'effort reciproque des autres Tourbillons qui la composent : effort, qui entretient une espece d'équilibre entr'eux [...] ils doivent donc s'éloigner du centre de la Terre, & s'élever au dessus du corps grossier. Mais les petits Tourbillons de la matiere étherée ne peuvent pas s'élever par leur ressort au dessus du corps grossier, sans qu'ils ne repoussent ce corps vers le centre de la Terre, & ne l'obligent à descendre par une ligne droite qui tende à ce centre, conformement à l'experience³.

L'équilibre entre les couches du tourbillon terrestre consiste « en ce qu'autant que les couches inferieures [celles plus proches de la Terre] poussent par le ressort ou par les

1 Sur ce « bouillonnement » chez Villemot, voir Partie II, Chapitre I. Bouillet évoque ce « bouillonnement » p. 39. Concernant les petits tourbillons de Malebranche, Bouillet mentionne « Rech. de la ver. Tom. 3. chap. der. & 16. Eclaircissem. Tom. 4 », cette première référence correspondant au Chapitre IX du Livre VI où figure l'explication de la dureté des corps. Voir aussi p. 31 et p. 33 sur l'évocation par Bouillet de « la force centrifuge presque infinie » des tourbillons et de leurs rôles dans la dureté des corps.

2 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 284.

3 Bouillet, *Dissertation sur la cause de la Pesanteur*, p. 24-27.

vibrations de leurs petits tourbillons les couches superieures, autant elles en sont repoussées ». Or, le « corps grossier » cause un déséquilibre dans le milieu car il ne possède pas autant de petits tourbillons qu'un pareil volume de matière subtile. La couche comprenant ce mobile repousse à son niveau « avec moins de violence » la réaction des petits tourbillons des couches inférieures, ceux-ci « se debandent » et « s'élevent où ils trouvent moins de resistance » c'est-à-dire au-dessus du corps grossier. Cette réaction se produit au niveau de la Terre laquelle demeure également comprimée de tous les côtés. Dans un tel système, un corps peut demeurer suspendu en l'air s'il possède « autant de ressort ou de force centrifuge propre que les petits Tourbillons, dont il occupe la place » : il « contrebalance » alors le « ressort » des tourbillons situé au-dessous et les repousse vers le centre de la Terre avec un « effort » égal à celui qu'ils font pour s'en éloigner (*ibid.*, p. 29-30). Ces différents éléments – les mouvements de rotation des couches qui ne participent pas à l'explication de la chute, l'importance du déséquilibre de petits tourbillons, la réaction au niveau de la Terre, le flux d'éther vers l'endroit qui résiste le moins – correspondent à ceux mis en œuvre par Malebranche.

Bouillet explique l'accélération de chute libre par « le ressort des petits Tourbillons ou leur force centrifuge » qui « agit continuellement » avec « une force égale » (*ibid.*, p. 33). Il suppose qu'au bout d'une seconde un corps parcourt une toise en chute libre sous l'action des « vibrations » des tourbillons. Si le mobile se mouvait uniformément avec la vitesse acquise au bout de cette seconde il franchirait deux toises pendant ce même temps¹. Pendant la seconde suivante, le mobile parcourt trois toises. En effet, « toujours également poussé en bas par les vibrations des Tourbillons de la matiere étherée, qui montent successivement à sa place », il traverse alors « une [toise] à raison de la vitesse que ces vibrations continuelles lui communiquent successivement comme dans la premier seconde » et « les deux autres [toises] à raison du degré entier de vitesse qu'elles [les vibrations] lui ont déjà communiqué, lequel persevere [...] & doit lui [le corps] faire parcourir un espace double du premier ». Bouillet montre par un raisonnement semblable que le corps franchit cinq toises durant la troisième seconde etc. Ainsi, « l'accélération de la vitesse » suit « la progression des nombres impairs » ce qui ne peut avoir lieu qu'à condition d'une proportionnalité entre les espaces parcourus et le carré des temps de chutes (*ibid.*, p. 34-35). En somme, au bout de la première seconde, sans l'action des tourbillons le mobile conserverait la vitesse qu'il a acquise et avec laquelle il franchirait un espace double de celui effectivement parcouru, autrement dit deux toises ; en réintroduisant cette action des tourbillons lors de la seconde durée, il franchit une toise, et le cumul de ces différents espaces conduit à trois toises.

Pour cette démonstration Bouillet s'appuie explicitement sur Fontenelle². Ce dernier conçoit que pour un intervalle de temps constant une même force communique une vitesse égale, autrement dit que la force est proportionnelle à la variation de vitesse : Fontenelle fonde cette proportionnalité sur celle de la cause à son effet en énonçant que « toute cause se mesure par son effet », celui d'une force étant la quantité de mouvement qu'elle produit³. Bouillet reprend ce raisonnement en y adjoignant une cause mécanique donnant une origine à cette force, à savoir le « ressort » des tourbillons, force dont la constance vient de ce que la chute ne dure que « quelques instans » ou ne se fait que sur de « très-petites distances » ceci impliquant une variation négligeable de l'intensité des « ressorts » des tourbillons qui se

1 Les relations cinématiques utilisées par Bouillet – la relation entre le mouvement uniformément accéléré et le mouvement uniforme, la loi de chute libre selon « la progression des nombres impairs » – figurent chez Galilée, *Discorsi e dimostrazioni matematiche*, p. 169-172. Des relations suffisamment connues à l'époque pour que Bouillet note seulement en bas de page « Galil. » sans préciser. Bouillet, *Dissertation sur la cause de la Pesanteur*, p. 34.

2 Bouillet écrit « M. de Fontenelle Hist. de l'Acad. 1711 », *ibid.*, p. 34. Il s'agit de Fontenelle, *De la Résistance des Milieux au Mouvement*, HARS 1711 (1730), p. 87-93 et particulièrement p. 89-90 pour la démonstration de la loi de chute.

3 *Ibid.*, p. 87-90. Pour cette proportionnalité entre la cause et son effet, voir la Partie I, Chapitre III.

succèdent au-dessus du corps¹. Il faut adjoindre à cette force la capacité qu'a le fluide à se répandre sans difficulté au niveau des espaces laissés libres par le corps, autrement dit sa fluidité.

Enfin, Bouillet termine son mémoire en montrant que « la Pesanteur des corps terrestres & celle des Planetes [à savoir la force centripète par laquelle la Terre et les autres planètes tendent vers le Soleil] ne reconnoissent qu'une même cause » (*ibid.*, p. 53). Si Bouillet suivait jusqu'à présent Malebranche dans ses explications, il s'en éloigne ici. En effet, Malebranche fonde les révolutions des planètes uniquement sur celles des couches d'éther qui les transportent alors que Bouillet attribue un rôle essentiel aux petits tourbillons. Bouillet écrit, tout d'abord, que la Terre ne s'éloigne pas du « cercle » ou de « l'ellipse » qu'elle décrit car la couche où elle se situe « pousse » les couches supérieures par sa force centrifuge autant qu'elle est repoussée. Mais les couches voisines du Soleil ne respectent pas la troisième loi de Kepler, et les petits tourbillons dans cette zone « suppléent » à ce déséquilibre ; Bouillet estime que le « ressort » ou la « force » de ces petits tourbillons doit « s'étendre à la ronde par des lignes droites en forme de rayons » et, malgré la distance séparant le Soleil d'une planète, il reste « assez de force aux petits Tourbillons qui sont au dessous de la Terre pour s'élever au dessus d'elle, & pour la faire descendre » vers le Soleil, à l'instar du mécanisme de chute libre décrit ci-dessus (*ibid.*, p. 49-51). Autrement dit, il existe par rapport à la théorie de Malebranche un supplément de forces, celles issues des petits tourbillons au niveau du Soleil, dont il faut bien contrecarrer l'effet pour justifier qu'une planète suive son orbite et ne tombe pas vers le soleil ; la simple révolution des couches d'éther ne suffit pas à Bouillet pour justifier celle des planètes. Ce sont alors les « Tourbillons particuliers » de chaque planète qui empêchent le mouvement de chute vers le Soleil. En effet, ces tourbillons sont « comme autant de ressort extrêmement bandés » qui font des efforts pour se « dilater » de tous les côtés. Selon Bouillet, le « centre du grand Tourbillon », autrement dit le Soleil, oppose plus de résistance à cette dilatation que ne le font les couches d'éther situées au-dessus de la couche où se trouve une planète ; les tourbillons de cette planète l'entraîneraient vers la circonférence du « grand Tourbillon » et elle s'éloignerait du Soleil « si le ressort des petits tourbillons qui se repand depuis le Soleil jusqu'à elles [les planètes] ne s'y opposoit ». Par conséquent,

c'est à raison du ressort ou de la force centrifuge qui résulte du mouvement propre de chaque Tourbillon autour de la Planète qu'il environne, que la Terre & les autres Planetes résistent à leur Pesanteur, ou qu'elles contrebalaient le ressort des petits Tourbillons qui sont au dessous d'elles ; c'est-à-dire, qu'elles repoussent ces Tourbillons vers le Soleil avec un effort égal à celui qu'ils font pour s'en éloigner (*ibid.*, p. 52-53).

De cette façon, les planètes restent « suspenduës » et comme en « équilibre » entre ces deux forces opposées de la même manière qu'un corps pourrait l'être dans l'atmosphère terrestre « s'il avoit autant de force centrifuge propre ou de ressort, que les petits Tourbillons dont il occupe la place », cas d'école évoqué précédemment. Par conséquent, la « pesanteur » qui résiste à « la force centrifuge ou au ressort » des tourbillons des planètes vient du « centre du grand Tourbillon » (*ibid.*) Ainsi, toutes les couches d'éther autour du Soleil, qu'elles portent ou non des planètes, s'équilibrent mutuellement, exceptées au niveau de l'astre. Les petits tourbillons prennent alors le relai et doivent rendre compte de la force centrale dirigée vers le Soleil, tout comme au niveau d'une planète ils rendent compte de la chute libre : Bouillet unifie ainsi ces deux phénomènes par le biais d'une explication commune s'appuyant sur les petits tourbillons.

1 Bouillet, *Dissertation sur la cause de la Pesanteur*, p. 36.

PRIVAT DE MOLIERES ET LAUNAY :
DES PETITS TOURBILLONS A LA LOI MATHEMATIQUE DE CHUTE

De manière générale, le phénomène de chute libre repose sur une différence de pesanteurs entre le mobile et le fluide qui l'environne. Molières, avant d'aborder la gravité dans l'atmosphère terrestre, examine le mouvement d'un corps soumis à l'action d'un milieu fluide et livre alors le mécanisme permettant de rendre compte de la loi d'accélération de chute.

Tout d'abord, si le volume du corps *ABCDE* (Fig. 20) plongé dans le récipient *XYZV* contenant un fluide pèse autant que le même volume de ce fluide, il demeure au repos, car « le mobile est pareil au volume du fluide dont il occupe la place, & qu'il n'y a pas de raison qu'un volume du même fluide chasse l'autre d'une place qu'il ne peut occuper avec plus de droit que l'autre occupe »¹. En somme, au regard de l'identité de pesanteurs, « ce mobile doit être considéré [...] comme un pareil volume du fluide », le principe de raison justifiant l'absence de mobilité².



Fig. 20 : Molières [1734], Planche IV, fig. 29

Dans le cas de pesanteurs différentes, les « vitesses acceleratrices » reçues par le mobile à chaque instant procèdent de « l'impulsion des parties du fluide produite sur le mobile par l'excès de la tendance des parties du fluide sur celles du mobile », l'impulsion causant « un mouvement uniformément accéléré »³. Dans un premier temps, Molières se place sous l'hypothèse d'un corps qui pèse moins qu'un pareil volume d'eau : son ascension ne procède pas de sa pesanteur mais de l'impulsion du fluide « produite par l'excès de la tendance des parties de l'eau vers le fond du tuyau [*XYZV*], sur celle des parties du mobile ». Dans *XYZV* les « parties » de cette eau pressent « de toute part » le mobile et « tendent à se mouvoir verticalement vers le fond *YZ*, sans qu'il soit nécessaire qu'elles s'en approchent effectivement » (*ibid.*, p. 272-273). Ainsi, toute la masse de l'eau « pouss[e] sans cesse contre le mobile *A* les globules *a, b, c, d, & 1. 2. 3. 4.* qui touchent sa superficie ». 1 tend à descendre vers *YZ* mais ne peut réaliser « en effet » ce mouvement « à cause que les globules inférieurs qui occupent le fond du tuyau, & qui y tendent avec une force égale, balancent son effort ». 2, 2 tendent à « monter » au-dessus de 1 sans que celui-ci ne descende : « 2. 2 [...] s'approcheront peu à peu l'un de l'autre jusqu'à ce qu'ils viennent à se toucher, & pousseront vers *T* le mobile *A* ». Lors de ce processus, « *a, a* [...] qui tendent aussi à descendre vers le fond *XZ*, tendront en même tems par leur pesanteur à s'écarter d'eux-mêmes horizontalement l'un de l'autre, & pourront par conséquent ne pas s'opposer à l'effort que font les globules inférieurs 2. 2 ». Simultanément, 3, 3 et 4, 4 etc. se rapprochent aussi et « aideront les

1 Molières [1734], Leçon IV, Proposition XI, p. 261.

2 L'édition de 1745 ajoute à « la pesanteur du mobile étant par la supposition, égale à celle d'un pareil volume du fluide dont il occupe la place, ce mobile doit être considéré par rapport à la pesanteur comme un pareil volume du fluide ; & qu'il n'y a pas de raison qu'un volume d'un même fluide chasse l'autre d'une place qu'il n'a pas plus de droit d'occuper, que n'en a celui qui l'occupe actuellement », voir Molières [1745], t. I, Leçon IV, Proposition X, p. 273.

3 Molières [1734], Leçon IV, Proposition XII, p. 270-271.

précédens à produire le même effet », tandis que « les globules b, b, c, c &c. [...] tendront d'eux-mêmes à descendre & à s'écarter par conséquent les uns des autres, ainsi que les globules a, a ». Par conséquent, des « globules » situés sous le corps s'approchent les uns des autres, tandis que ceux au-dessus s'écarterent et, tout ceci « par l'effort que font toutes les parties de l'eau à descendre vers le fond ». A migre alors vers T à cause de ces globules et plus généralement « par l'effort commun de toutes les parties de l'eau contenuës dans le tüiau » (*ibid.*, p. 273-276). Par conséquent, l'ascension du corps ne résulte ni d'un parcours d'une distance verticale finie ni de l'acquisition d'un « mouvement accéléré » des parties du fluide, mais

c'est uniquement par la force acceleratrice de ces parties ; ou par l'excès de la tendance qu'elles ont à descendre sur celle du mobile, & par laquelle les globules inferieurs 2. 2 : 3. 3. &c. ont pressé le mobile sans aucune interruption de tems, en s'approchant les uns des autres horizontalement par l'effort continuel de toutes les parties de l'eau, qui procede de leur pesanteur, ou de leur tendance à descendre, & qui presse le mobile de toute part (*ibid.*, p. 278-279).

Cette explication fait alors place au détail d'évolution des vitesses du corps. Durant « le tems t que les globules 2, 2. mettront à s'approcher peu à peu l'un de l'autre », le mobile « parcourra un petit espace z » d'un « mouvement accéléré » en acquérant une vitesse u à la fin de t , z correspondant aussi à la moitié de la distance franchie pendant t avec une vitesse uniforme égale à u (*ibid.*, p. 277)¹. Pendant un second intervalle t ,

le mobile aiant acquis une vitesse capable de lui faire parcourir, uniformément deux espaces égaux à celui qu'il vient de parcourir, les parties $b, b : c, c : \&c.$ qui tendent à descendre pouvant ne faire aucun obstacle à ce mouvement ; on comprend que la même opération qui s'est faite durant le premier tems, aura pû s'executer deux fois, sans que les parties inférieures 2. 2 : 3. 3. &c. de l'eau qui tendent toujours d'elles-mêmes à occuper la place que le mobile quitte, l'aient pressé pour accelerer son mouvement : mais on peut concevoir que durant ce même second tems, la précédente opération a pû être répétée trois fois ; parce que l'on peut comprendre que les parties de l'eau, à cause de l'extrême facilité qu'on leur a attribuée à se mouvoir aussi-tôt qu'il y a la moindre raison qu'elles le fassent, ont pû presser le mobile durant ce second tems aussi fortement que durant le premier tems. Mais on ne peut pas concevoir que cette même opération ait pû être répétée plus de trois fois durant ce second tems ; parce que les parties de l'eau n'ont pas pû durant ce second tems agir plus fortement sur le mobile qui fuit leur choc, que durant le premier tems. D'où il suit clairement que le plus grand espace que le mobile ait pû parcourir durant ce second tems est d'avoir parcouru trois espaces égaux au premier².

Le même raisonnement pour les intervalles de temps successifs rend alors compte de l'évolution des distances selon les nombres impairs³. Ainsi, au commencement du second intervalle de temps, le mobile possède une vitesse le rendant capable de franchir un espace double à celui traversé lors de la première durée. Molières suppose dans un premier temps une conservation d'une tendance inertielle du corps à la fin du premier instant (« sans que les parties inférieures [...] qui tendent toujours d'elles-mêmes à occuper la place que le mobile quitte, l'aient pressé pour accelerer son mouvement »). Puis, les « parties » possèdent de la même manière dans le second instant que lors du premier des tendances identiques conduisant à des pressions semblables ; les « parties » n'agissent pas plus longtemps durant cette seconde durée égale à la première et n'agissent pas « plus fortement ».

1 Sur cette proposition cinématique classique, voir Leçon IV, Proposition I, p. 223-233. Voir aussi la partie ci-dessus consacrée à Bouillet.

2 Molières [1734], Leçon IV, Proposition XII, p. 279-281.

3 Sur cette proposition classique, voir Leçon IV, Proposition I, p. 233-238 et la section ci-dessus consacrée à Bouillet.

Le même phénomène se produit lorsque le mobile pèse plus qu'un même volume d'eau, soit lorsque « l'eau tend avec plus de force à monter que le mobile ne tend aussi à monter », *a, b, c, d* etc. jouant alors le rôle précédemment dévolu à 1, 2, 3, 4 etc.¹

Cette justification de la loi de chute ne diffère pas de celle de Bouillet. Molières détaille davantage le mécanisme et, bien qu'il ne les évoque pas ici, ces « parties de l'eau » correspondent à un ensemble de petits tourbillons dont ce fluide se compose ; Launay propose un mécanisme et un raisonnement rigoureusement identique à celui de Molières². Ainsi, l'ascension ou la descente supposent des « tendances » à s'approcher ou s'éloigner du fond différentes pour le mobile et le milieu. Les « globules » de ce dernier pressent de tous les côtés le corps qui ne peut se mouvoir sans que la place libérée ne soit « aussitôt » occupée par d'autres globules qui migrent avec « une vitesse égale » à celle du mobile. Si des « globules » tendent vers le fond du tuyau, celui situé au-dessus de *a*, *a* contigus au corps par sa pesanteur et celle des autres globules tend à éloigner *a*, *a* selon des directions horizontales ; 2, 2 tendent à s'approcher pour les mêmes raisons (pesanteurs propres et celles des parties du milieu) et « montent au-dessus » de 1³. Reste alors à justifier ces « tendances » dans un fluide, en l'occurrence celles de l'éther de l'atmosphère terrestre, afin d'appliquer ces analyses à la chute libre.

Ces « tendances » correspondent à celles des parties de l'éther à s'approcher ou s'éloigner du centre de la Terre. Molières juge insatisfaisante l'explication de la pesanteur basée sur un « excès » de vitesse de l'éther par rapport aux corps ; sa critique s'appuie sur celle de Huygens et ne diffère pas de celle rencontrée chez Bouillet⁴. Tout d'abord, un corps au cœur d'un fluide en mouvement fini par prendre la vitesse de ce dernier et, alors, « la Terre & les corps qui l'avoisinent ne doivent donc pas circuler moins vite que la matière étherée, puisque la Terre ne circule autour de son axe, que parce que cette matière la fait circuler »⁵. La « pesanteur » des corps, autrement dit l'accélération qu'ils subissent, ne provient donc pas d'un excès de vitesse de rotation de l'éther. Ainsi, un corps dur placé dans un tourbillon composé uniquement de corpuscules durs circule avec la même vitesse que le volume de particules dont il occupe la place circulerait. Il possède « autant de force » à s'éloigner de *O* que ce volume (Fig. 13), soit « autant de tendance » à s'approcher de la surface *Y* que les parties du tourbillon qui l'entourent, et il demeure à la même distance du centre « par la raison qu'il sera en équilibre avec les globules qui l'entourent & qui tendent avec autant de force que lui, à s'approcher de la même surface »⁶. Un tel modèle ne saurait donc expliquer la chute des corps. Le mécanisme proposé par Molières et Launay repose sur la substitution des « globules durs » par des petits tourbillons :

1 Molières [1734], Leçon IV, Proposition XII, p. 282.

2 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 334-345.

3 *Ibid.*, p. 338-340.

4 Molières rapporte que selon Descartes la chute d'une pierre provient de ce qu'elle possède la vitesse de rotation de la Terre, elle-même moindre que celle de l'éther l'entourant, la différence de forces centrifuges d'un même volume de fluide et de matière expliquant alors la « poussée vers le bas ». Or, Huygens montre que « la matière céleste » circule 17 fois plus vite que la surface terrestre, une telle vitesse devant nécessairement « pousser horizontalement » le mobile par « une impression sensible », Molières [1734], Leçon IV, Proposition XIV, p. 285-286. Critique identique chez Launay *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 89-90 et p. 345-346. Ce dernier évoque aussi, en suivant Huygens, que dans l'hypothèse cartésienne la direction de la pesanteur est orthogonale à l'axe du tourbillon et non radiale, *ibid.*, p. 333-334. Sur la critique de Huygens, voir Partie II, Chapitre I.

5 Molières [1734], Leçon IV, Proposition XIV, p. 286-287.

6 *Ibid.*, p. 293-294. Voir Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 87 et p. 346. Il faut remarquer que dans le système de Descartes – en supposant des corpuscules durs – le mobile possède « autant de force » dans le sens qu'il possède une même accélération centrifuge, mais aussi une même force centrifuge. En effet, « si les corps pesants doivent circuler autour du centre [de rotation] avec la même vitesse que le fluide, comme ils ont d'ailleurs dans le système Cartésien, où on n'admet aucun vuide, autant de masse que chaque volume du fluide, dans lequel ils nagent ; il est bien certain qu'ils auront autant de force centrifuge, que les volumes du fluide à la place desquels on les a mis, & que par conséquent, ils ne pourront devenir pesants », *ibid.*, p. 88-89.

si sans rien changer à la vitesse des petits globules du tourbillon Y , ni à celle du mobile, on suppose seulement que tous ces petits globules soient des tourbillons. Alors je dis que malgré la tendance que le mobile aura pour s'éloigner du centre O , il s'en approchera. Car la tendance que le mobile aura à s'éloigner du centre O , ne procédant uniquement que de sa circulation autour de ce centre, sera égale à celle qu'il avoit dans le tourbillon simple [celui composé uniquement de corpuscules durs], & qu'avoient les petits globules durs avant d'être transformés en petits tourbillons. Mais dès que ces globules auront été transformés en petits tourbillons, sans que leurs vitesses autour du centre O aient ni augmenté, ni diminué ; Alors les forces centrales de ces petits tourbillons à l'égard du centre O , dépendront de deux genres de mouvemens circulaires, l'un de leurs centres autour du centre O du grand tourbillon ; l'autre des points dont ils sont composés autour de leurs propres centres, qui tend à les écarter l'un de l'autre. Et le mouvement circulaire du grand tourbillon déterminera l'effort que les petits tourbillons font pour s'écarter l'un de l'autre, à se diriger du centre vers la superficie. D'où il suit que les forces centrales de tous les points du tourbillon Y auront augmenté [...] sans que celle du mobile [...] soit devenuë plus grande qu'elle n'étoit dans le tourbillon simple¹.

Les tourbillons et le corps possèdent un mouvement commun autour de O conduisant pour chacun d'eux à une même accélération centrifuge, mais la rotation des tourbillons autour de leurs propres centres produit une « seconde force » – terme à prendre ici comme synonyme d'accélération –, ce supplément provoquant la chute². Alors le mobile s'approche de O avec une vitesse accélérée d'autant plus grande que la « force » avec laquelle le fluide s'éloigne de O excède celle du mobile, « sans qu'il soit nécessaire que le tourbillon Y s'étende au-delà de ses bornes » tout comme il n'était pas nécessaire dans l'analyse précédente que le fluide dans le tuyau possède un mouvement fini³. Par conséquent,

l'effort que les petites parties dont ils [les petits tourbillons] sont composés font pour s'éloigner de leurs propres centres, & qui tend à écarter les centres de ces petits tourbillons les uns des autres, conspirant avec l'effort qu'ils font tous ensemble pour s'éloigner du centre commun O de leurs mouvemens circulaires autour de ce centre, le mobile qui aura moins de force centrifuge pour s'éloigner du centre O , qu'un pareil volume de ces petits tourbillons, s'en approchera nécessairement d'un mouvement accéléré⁴.

Pour sa part, Launay écrit qu'un corps placé dans l'éther composé de petits tourbillons possède la même vitesse de rotation que ceux-ci mais « beaucoup moins de force centrifuge » car ces tourbillons, indépendamment de la rotation commune, « font de perpétuels efforts en vertu de leur force élastique, pour rompre la circonférence qui les arrête » ; dès lors, « le mobile dur qui n'est pas composé de tourbillons & dont les parties n'ont aucune force centrifuge particulière, sera contraint de s'approcher du centre, par l'excès de tendance du fluide vers la surface du tourbillon »⁵. Ainsi, chaque point d'un « tourbillon composé » possède, par rapport à « un tourbillon simple », « une force centrifuge, ajoutée à leur force centrifuge commune » (*ibid.*, p. 91 et p. 108-115 sur cette force supplémentaire). Launay écrit alors que

les points du tourbillon composé, précisément parce qu'ils sont petits tourbillons, ont une tendance à écarter leurs centres les uns des autres. Or ils ne peuvent avoir une pareille tendance, sans avoir une plus grande force centrifuge que les points du tourbillon simple. Car tous les tourbillons qui composent une couche, ne peuvent avoir une tendance à écarter leurs centres mutuellement, qu'ils n'en ayent une à augmenter ou agrandir la couche qui les contient, puisqu'ils ne peuvent écarter leurs centres l'un de

1 Molières [1734], Leçon IV, Proposition XV, p. 294-296.

2 Sur ce supplément de force, Molières établit que « non seulement chacune des couches du Tourbillon composé [de petits tourbillons] tendra à s'écarter de toute part du centre O , avec une égale force, comme dans le Tourbillon simple [composé de corpuscules durs] : mais toutes ces couches tendront encore à s'épaissir, à par conséquent à s'écarter du centre O , avec plus de force », à cause des « forces centrales particulières » issues des rotations des petits tourbillons « autour de leurs propres centres », *ibid.*, Leçon III, Proposition IX, p. 191-192. Sur cette appellation de « seconde force », voir Leçon IV, Proposition XVI, p. 301.

3 *Ibid.*, Leçon IV, Proposition XV, p. 296-297.

4 *Ibid.*, p. 299.

5 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 346-347.

l'autre, tant qu'ils sont tous en équilibre, que par l'agrandissement de cette couche. Or des points qui ont une tendance à agrandir la couche qui les contient, tendent manifestement à s'éloigner du centre de cette couche. Donc les points du tourbillon composé, ont, parce qu'ils sont tourbillons, une nouvelle force centrifuge, outre celle qui naît de la circulation commune. Donc la somme des forces centrales est plus grande dans un tourbillon simple que dans un tourbillon composé (*ibid.*, p. 109-110).

Dans l'avant dernier extrait ci-dessus, Molières précise que le grand tourbillon « déterminera l'effort que les petits tourbillons font pour s'écarter l'un de l'autre, à se diriger du centre vers la superficie ». En effet, pour qu'un corps pèse, il faut que les parties qui composent le tourbillon soient des petits tourbillons, « comme l'a très-bien remarqué le P. Malebranche »¹, et que ceux-ci circulent autour d'un centre commun. Sans cette circulation, les petits tourbillons comprimeraient également un corps et puisqu'ils « ne tendront pas à se mouvoir plus fortement vers un point que vers un autre, ils ne pourront pas pousser le mobile vers un point plus fortement que vers un autre »²; l'éther ne pourrait alors que « comprimer très fortement le mobile » sans le pousser vers un endroit particulier³. Ainsi, la rotation des couches autour d'un centre produirait selon Molières un effort centrifuge qui « détermine » une direction radiale pour la dilatation des petits tourbillons et leurs éloignements mutuels passant par le centre de rotation commun ; nous verrons ci-dessous que c'est ainsi que raisonnent Gamaches et Keranflech.

Par ailleurs, aux Propositions X et XV de sa Leçon III, Molières écrit que la vitesse du centre d'un petit tourbillon dépend de son éloignement de O le centre du grand tourbillon ; ce dernier, en ce sens, « détermine » ainsi la vitesse et donc l'effort des petits tourbillons. En effet, si un petit tourbillon se meut le long d'une circonférence sphérique – en l'occurrence, d'une couche éther – son centre A décrit un cercle concentrique dont le rayon « ne peut être que très-peu différent » de celui de cette sphère : pour Molières, la vitesse de A ne peut augmenter que celle du point de contact, et donc de la couche d'éther, n'augmente, et il en conclut que les parties des petits tourbillons possèdent la même vitesse que leur centre⁴. Molières passe alors de ces vitesses aux « efforts » centrifuges que les petits tourbillons développent et qui tendent à les écarter les uns des autres : il estime qu'ils égalent ceux issus de la circulation de cette couche d'éther⁵. Ces « efforts » pour s'éloigner entre eux donnent naissance à une « seconde force » qu'un corps dur ne possède pas car « les parties du corps qui pèse ne sont pas en petits tourbillons, tandis que celle du fluide qui le rend pesant, sont en petits tourbillons »⁶. Ainsi, « la pesanteur du mobile ne dépend pas de l'excès de cette vitesse [celle de la couche d'éther autour de la Terre dans laquelle il se trouve, vitesse de rotation qu'il possède aussi] mais bien de l'excès de la force centrifuge des points du tourbillon [terrestre], qui naît de l'effort que les centres de ces points [les centres des petits tourbillons] font pour s'écarter les uns des autres ; lequel effort leur procure une seconde force pour s'éloigner du centre O égale [...] à celle que leur procure leur circulation autour de ce même centre » (*ibid.*, p. 301). Cette « seconde force » égalant celle d'une couche, et la « force » de

1 Molières [1734], Leçon IV, Proposition XV, p. 297.

2 *Ibid.*, p. 298.

3 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 355.

4 Molières [1734], Leçon III, Proposition X, p. 193-194.

5 *Ibid.*, Proposition XV, p. 208-210 : « c'est une nécessité que l'effort que les centres des petits tourbillons font pour s'écarter de O [Fig. 2], procédant en partie de l'effort qu'ils font pour s'écarter l'un de l'autre, cet effort [entre eux] soit égal, à chaque point du grand Tourbillon, à l'effort que ces mêmes points font pour s'écarter du même centre O , à cause de leurs circulations autour de ce centre ». Ainsi, tous les points de chaque couche s'éloignent du centre de rotation avec une même force et la couche tend à « s'épaissir » avec une force égale : « ce double effort procurera évidemment à chaque point de cette couche, une tendance à s'éloigner du point O double de celle qu'ils auroient, s'ils ne tendoient qu'à s'en éloigner par leurs mouvemens circulaires autour du même centre : ou s'ils n'étoient pas de petits tourbillons, dont les centres tendissent à s'écarter l'un de l'autre ». La « force centrale » de chaque point d'un grand tourbillon vaut donc la somme de ces deux « efforts » égaux.

6 *Ibid.*, Leçon IV, Proposition XVI, p. 308.

cette dernière variant comme l'inverse du carré de la distance au centre O , il s'ensuit que « la pesanteur du mobile, qui est l'effet immédiat de cette force [des petits tourbillons], doit aussi croître & décroître de la même façon » (*ibid.*, p. 302)¹. Par ailleurs, la force centrifuge du tourbillon sphérique agissant radialement, la chute d'un corps suit la même direction (*ibid.*, p. 300)².

Launay ne s'attache pas à quantifier ce surcroît d'accélération dû aux petits tourbillons : il écrit seulement que « la force centrale est plus grande dans le tourbillon composé, que dans le tourbillon simple »³. Il souligne alors que « les pesanteurs suivront la raison inverse des carrés des distances. Car les forces centrales des points d'un [grand] tourbillon sphérique [céleste] suivent exactement ce rapport » : il passe ainsi de la « force » de chaque point de la couche à celle des petits tourbillons la constituant et desquels résulte l'accélération de chute libre, sans développer davantage. Launay termine ses réflexions en remarquant que tous les corps subissent la même accélération mais qu'ils ne sont pas également pesants : leur « force », entendue comme leur poids, doit être proportionnelle au produit de leur « masse, ou au nombre de leurs parties, qui tendent vers le centre de la terre » par leur « vitesse » (à savoir l'accélération). L'éther ne pèse pas et les corps pèsent différemment selon qu'à volume égal ils contiennent plus ou moins d'éther (*ibid.*, p. 353)⁴.

Ainsi, « pour produire la pesanteur du mobile, il faut que ces deux causes [la force centrifuge du grand tourbillon et les forces centrifuges des petits] se combinent ensemble, & qu'elles produisent dans le fluide un effort centrifuge plus grand, que celui du mobile », lequel ne possède que la première force (*ibid.*, p. 355). Molières voit alors dans « le tourbillon, composé de petits tourb. une cause mécanique de la pesanteur, ou de la force centripète, telle que M. Newton la demande, qui croît & décroît en raison inverse des carrés des distances au centre, & qu'il avouë n'avoir pu déduire de ses suppositions »⁵. Cette « force centripète » de Newton ne provient pas « immédiatement » de l'accélération centrifuge due à la rotation de la couche d'éther mais des efforts particuliers des petits tourbillons entre eux qu'à volume égal un corps dur ne possède pas⁶.

GAMACHES ET KERANFLECH : LE « FLUX » ET LE « REFLUX » DE L'ETHER

Gamaches et Keranflech fondent aussi la pesanteur sur le « tourbillon composé », bien qu'en apportant une variante.

Gamaches montre, dans un premier temps, que les pertes de vitesses d'un « corpuscule » en mouvement sur une sphère creuse et soumis à une force centrifuge, donc normale à la surface de cette sphère, « ne doivent être comptées pour rien »⁷. En remplaçant cette sphère par une couche sphérique de matière, un équilibre global requiert que tous les points d'une même couche possèdent une même force centrifuge, ce qui implique que les points d'une couche donnée circulent à la même vitesse (*ibid.*, p. 140-141)⁸. Gamaches considère alors deux couches $MGNH$ et $DSZT$ (Fig. 21) respectivement de rayons R et r , de vitesses V et U . Il découpe une « Pyramide FCI infiniment étroite » et l'équilibre conduit à ce que la force

1 Sur cette loi de variation des forces des couches, voir Partie II, Chapitre II.

2 Sur cette direction de la force, voir Partie II, Chapitre II.

3 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 108.

4 Pour la quantification des « forces centrales », voir Partie II, Chapitre II.

5 Molières [1734], Leçon IV, Proposition XVI, p. 304.

6 *Ibid.*, p. 307-308. Voir aussi Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 346-347.

7 Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 140. Cette proposition correspond à celle évoquée dans le Partie II, Chapitre II. Gamaches s'attache à la force centrifuge d'un corpuscule sur un cercle et il considère ensuite ce corpuscule dans une sphère : le corps parcourt alors un cercle dont le centre passe par un diamètre de la sphère et Gamaches établit qu'il presse la sphère selon la direction d'un de ses rayons. Voir p. 135-136 et p. 137-140.

8 Voir Partie II, Chapitre II.

centrifuge de la « tranche » KO égale celle FI . Il considère les surfaces de ces tranches égales à d^2 et D^2 et l'équilibre donne alors $\frac{d^2 U^2}{2r} = \frac{D^2 V^2}{2R}$ ¹ pour les forces centrifuges par rapport au centre C ; puisque, par géométrie, $\frac{d}{2r} = \frac{D}{2R}$, il suit de la combinaison de ces deux relations $\frac{U}{V} = \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{r}}$. Par ailleurs, les forces centrifuges des points K et F valent $\frac{U^2}{2r}$ et $\frac{V^2}{2R}$, ce qui associé à $\frac{U}{V} = \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{r}}$ trouvée précédemment donne que la force de K (resp. F) est proportionnelle à $\frac{1}{r^2}$ (resp. $\frac{1}{R^2}$). Alors, pour qu'il y ait un équilibre, il faut que « les forces centrifuges [des « particules »] soient partout en raison renversée des carrés des distances » et, ainsi, que les « particules » des couches les plus proches du centre possèdent davantage de forces centrifuges (*ibid.*, p. 142-143). Avec A et B respectivement les projections orthogonales de F et K sur GH , avec $AF = y$ et $BK = z$, avec T et t les durées des révolutions de F et K autour de l'axe GH perpendiculaire à MN appartenant au plan équatorial, avec $CK = r$ et $CF = R$, d'après les calculs précédents $\frac{U}{V} = \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{r}}$, relation qui jointe à $U = \frac{z}{t}$ et $V = \frac{y}{T}$ ² donne $\frac{T^2}{t^2} = \frac{Ry^2}{rz^2}$; en considérant maintenant que F et K circulent dans le plan équatorial défini par MN , c'est-à-dire que $y = R$ et que $z = r$ on obtient la troisième loi de Kepler (*ibid.*, p. 144-145).

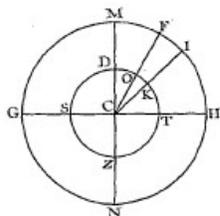


Fig. 21 : Gamaches, *Astronomie Physique* (1740), fig. 10



Fig. 22 : Gamaches, *Astronomie Physique* (1740), fig. 21

Gamaches écrit alors que l'« hipotèse » des petits tourbillons jointe à celle des grands « conduit nécessairement au principe de la pesanteur, & [elle] nous le rend manifeste » (*ibid.*, p. 152). Ces petits tourbillons permettent de rendre compte de ce que Gamaches nomme une « double pesanteur ». L'auteur considère le mouvement d'un corps dur sur la surface dure polygonale ABC (Fig. 5) : le choc en B détruit la composante normale et le corps se meut le long de BC . Il considère ensuite les lignes AB et BC « couchées sur la surface intérieure d'une masse creuse », puis que le corps est un « globule élastique » : ce corps décrit BG à cause de la « réaction vive » qu'il éprouve en frappant BC et « si le Poligone devenoit un cercle, les mouvements alternatifs qu'auroit le corpuscule, deviendroient infiniment prompts ». Autrement dit, les tourbillons d'éther « se tendent & se détendent sans cesse » et puisque les couches d'éther ont des actions les unes sur les autres suivant des directions radiales, chaque petits tourbillons se voit alternativement poussé du centre à la circonférence et de la circonférence au centre (*ibid.*, p. 162-163). Cette compression trouve son origine dans le mouvement de rotation des couches que composent les petits tourbillons : « comme les petits tourbillons de l'éther ont une force qui les éloigne du centre du grand tourbillon dont ils sont la matiere propre, il faut qu'ils s'écartent de ce centre le plus qu'il est possible, & qu'en même tems ils y soient remplacés par le fluide qui pénètre leurs pores, ou dans lequel on peut supposer qu'ils nagent » (*ibid.*, p. 153-154). Gamaches ajoute que la réaction des couches

1 Rappelons que l'équilibre des couches est considéré en prenant en compte l'ensemble des forces centrifuges d'une surface donnée (ici les aires des surfaces sont d^2 et D^2). Voir pour ce type de calculs, voir la Partie II, Chapitres I et II.
2 Ici la vitesse de F (resp. K) correspond à la distance décrite par F (resp. K) lors d'une révolution de durée T (resp. t), à savoir $2\pi y$ (resp. $2\pi z$), divisée par cette durée. Rappelons que tous les points d'une même couche circulent à la même vitesse.

supérieures « ne sera parfaitement libre que quand les couches inférieures seront parvenues au point de leur plus grande dilatation [...] ces couches [inférieures et supérieures] s'assujettiront bientôt à se dilater & se resserrer comme de concert & dans les mêmes instans ». Ainsi, puisque les « mouvemens oscillatoires des tranches parallèles RI , dg , km , gh , seront obligés de s'accorder » (Fig. 22), il faut que « que les vitesses du flux & du reflux de ces tranches, soient en raison renversée de leurs surfaces, ou des carrés de leurs distances au point S , pris pour le centre du tourbillon ». Gamaches ajoute alors que ceci « justifie que quand un tourbillon se forme, il faut que les mouvemens s'y combinent de façon qu'ils réduisent les couches inférieures à n'avoir ni plus ni moins de forces centrifuges que les couches supérieures ». En effet, cet équilibre des forces centrifuges de couches conduit, comme remarqué plus haut, à une loi du type $\frac{1}{r^2}$, celle-là même qu'il trouve ici par cet « accord » entre les « vitesses du flux & du reflux » des couches d'éther (*ibid.*, p. 164-165).

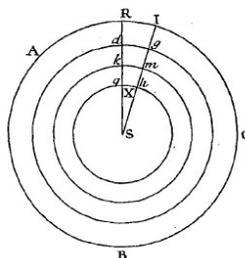


Fig. 23 : Gamaches, *Astronomie Physique* (1740), fig. 23

Si dans un tourbillon la matière éthérée pèse du centre vers la circonférence et subit une réaction « autrement elle franchiroit ses bornes », *a contrario*, selon Gamaches, lorsqu'elle pèse de la circonférence au centre « elle n'a nul besoin d'être appuyée, elle se soutient par l'efficace de sa force centrifuge, qui alors supplée à la réaction » (*ibid.*, p. 167). Gamaches découpe dans ce milieu une « pyramide » ou « colonne » dont le sommet se confond avec le centre S du tourbillon (Fig. 23) et y place un solide X comprenant moins de petits tourbillons qu'un pareil volume d'éther. En supposant que seule une « colonne » d'éther C appuie sur X , avec u la « tendance » – la vitesse – du fluide C , X commence à se mouvoir avec « une vitesse infiniment petite » V telle que $(C + X)V = Cu$ soit $V = \frac{Cu}{C+X}$ (*ibid.*, p. 169-170)¹. Ceci posé, au commencement de la phase de « flux » de l'éther, la « Pyramide » qSh à laquelle X sert de base « pousse » ce corps sans que rien ne le repousse car « le fluide n'éprouvera pas encore de réaction ». Mais, les « ressorts de l'éther » du tourbillon se compriment aussi progressivement et qSh cesse bientôt d'agir seule sur X : « il faudra donc que conformément au principe d'où se tire l'équilibre des liqueurs, [que] son effort [de qSh] soit balancé de plus en plus par celui que feront les Pyramides laterales, qui commençant à trouver un appui du côté de la circonférence, réagiront sur tout ce qui les obligera de se contenir dans leurs bornes ». Alors, Gamaches écrit qu'« on peut supposer sans erreur que ces Pyramides rabattront le corps X , autant que la Pyramide inférieure qSh l'aura élevé » et ainsi X durant cette phase infiniment petite de flux ne s'élève pas vers la circonférence. En somme, la présence du corps entraîne un déséquilibre des « pyramides » entre elles, mais ça n'est pas là la cause de la chute ; les « pyramides » mitoyennes à celle portant le corps tendent à agir sur ce dernier qui ne comprend pas autant de tourbillons qu'elles et ainsi empêchent qu'il ne s'élève. Nous verrons ci-dessous que Keranflech se sert aussi de cette action qui se voit aussitôt suivie de la phase de reflux. Dès lors, « la Pyramide tronquée $Rqhl$, qui chargera tout le corps X de tout son

¹ L'équation revient à celle de la conservation de la quantité de mouvement pour l'ensemble colonne-corps ; manifestement C est ici utilisé comme une masse, bien que l'éther ne possède pas de masse.

poids [...] poussera ce corps » (*ibid.*, p. 171). Plus précisément, comme toutes les forces, le « poids » de cette « Pyramide » doit être fonction de sa « masse » et de son accélération : Gamaches prend en compte la hauteur qR et la base qh (le produit de celles-ci donnant une grandeur homogène à un volume et donc proportionnel à une masse) et identifie l'accélération à la « vitesse réactive » égale à celle de la base qh . Mais « le rapport de sa [le corps X] masse à celle des colonnes qui le pousseront vers [le] centre, [est] toujours indéfiniment petit » et puisque $V = \frac{Cu}{C+X}$, u représentant la « vitesse réactive », il vient $V \approx u$ autrement dit « les vitesses initiales des chûtes de ce corps, seront par-tout les mêmes que celles du fluide »¹ ; ces « vitesses initiales » – des accélérations – respectent alors comme pour l'éther une loi du type $\frac{1}{r^2}$ (*ibid.*, p. 174). Remarquons enfin que la pression de l'éther s'exerce sur « les particules intégrantes » ou « élémentaires » du corps – autrement dit, ses parties solides non pénétrables – et que selon Gamaches le poids d'un corps n'est pas nécessairement proportionné à sa masse (*ibid.*, p. 171-172)².

Keranflech écrit qu'un tourbillon sphérique également comprimé de tous les côtés peut être considéré comme dans une sphère creuse dont la matière de ce tourbillon presse la surface intérieure continuellement par un effort orthogonal (radial) égal dans toutes les directions. En allant du centre à la superficie, une couche donnée agit radialement d'une même force sur celle immédiatement supérieure et Keranflech remplace la surface rigide par une autre couche d'éther qu'il suppose composée d'autres petits tourbillons³. Keranflech note alors qu'« on voit [...] que ce même effort [celui radial] est prodigieusement plus grand dans le tourbillon composé que dans le simple » et qu'« à raison de l'élasticité du tourbillon, l'effort centrifuge est suivi d'une réaction centripète égale à l'action. Donc toute la matière du tourbillon pèse alternativement, & sans cesse, du centre vers la surface & de-là vers le centre » (*ibid.*, p. 299). Ainsi, avec « la pesanteur centrifuge », tous « les ressorts se bandent », doivent s'« aplatiser » ou « tendent à l'être » à cause de « la résistance » de la sphère creuse qui « soutient » cet « effort centrifuge », et alors ils doivent « se presser collatéralement les uns les autres ». *A contrario*, rien ne soutenant « la pesanteur centripète », les petits tourbillons se « débloquent librement » et « la matière reflue vers le centre dans la direction de chaque rayon, & sans effort collatéral » (*ibid.*, p. 299-300). Comme Gamaches, Keranflech découpe ce milieu en plusieurs pyramides :

il est bien évident que cette masse [le solide], quand le tourbillon se dilate, ou quand toute la matière du tourbillon s'éloigne du centre, monte aussi d'elle-même tant soit peu : mais n'ayant de soi de force centrifuge que comme dans un tourbillon simple [non composé de petits tourbillons], elle cause un défaut d'équilibre entre les pyramides de l'éther ; & l'effort des collatérales gagnant autour & par-dessus, elle se retrouve aussitôt au lieu où elle étoit d'abord. Mais la réaction du tourbillon survenant en même tems, la portion de pyramide d'au dessus de cette masse se débante contre elle, celle de dessous ne la soutenant point, (car elle retombe alors vers le centre) ; & elle est obligée de descendre autant que la matière du tourbillon, sans avoir pu monter comme elle. De sorte que ce jeu se répétant une infinité de fois, la masse sera abaissée jusqu'au centre dans un tems fini (*ibid.*, p. 300-301).

Ainsi, « la cause complete de la pesanteur consiste donc dans l'action & la réaction de l'éther », que « Mr. de Gamaches a [...] bien analysé [...] dans son *Astronomie Physique* ». *A*

1 Il suffit dans la relation $V = \frac{Cu}{C+X}$ de considérer que X est une grandeur infiniment petite par rapport à C .

2 Pour cette absence de proportion entre ces deux grandeurs, Gamaches évoque l'augmentation du poids de certaines matières calcinées (étain, plomb etc.) malgré « l'évaporation de leurs souffres », autrement dit le poids des corps augmente tandis que leur masse diminue.

3 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 297-299. Le choc oblique d'un corps parfaitement élastique sur une surface dure permet de rendre compte d'une action orthogonale sur la surface, d'une compression, et d'une réaction normale due au « ressort », ce que subissent les tourbillons d'éther par l'action de la force centrifuge de la couche sphérique qui les entraîne sur la couche d'éther supérieure. Voir Partie II, Chapitre II sur ce point.

contrario, « Mr. de Molières, en expliquant le principe de la pesanteur, ne tient aucun compte de la réaction de l'éther ; & il attribue tout ce phénomène à la seule action ». Keranflech estime cependant qu'on « suppose nécessairement » cette réaction « dès qu'on fait le tourbillon élastique » et ainsi « si Mr. de Molières a cru expliquer sans elle la pesanteur, c'est qu'il l'a employée sans la distinguer, & sans s'apercevoir qu'il l'employoit » (*ibid.*, p. 301).

CONCLUSION

Les explications ci-dessus reposent sur des ruptures d'équilibre, un solide placé dans une couche d'éther concentrique à une planète contenant moins de petits tourbillons qu'un même volume de fluide. L'équilibre requiert une identité de forces centrifuges des couches, en considérant que l'expression de telles forces correspond à la prise en compte des forces centrifuges égales et exprimées par une loi de la forme $\frac{1}{r^2}$ de tous les points compris sur les « tranches » d'éther. La présence d'un solide implique celle de « parties intégrantes » qui ne sont pas sous la forme de petits tourbillons et donc modifient localement « le mouvement de la couche spherique » selon l'expression de Bouillet. Par ailleurs, en suivant Malebranche et probablement les critiques de Huygens, ces savants réfutent l'explication de la pesanteur par un surcroît de force de la couche d'éther dans sa rotation par rapport au corps. Malebranche précise que si ce mouvement participe au phénomène il n'en n'est pas un élément essentiel. Au-delà de ces points communs, les mécanismes explicatifs de la pesanteur diffèrent.

Bouillet suit le raisonnement de Malebranche qu'il généralise à la pesanteur des planètes. La couche portant le corps résistant moins aux pressions des couches inférieures, les petits tourbillons des pyramides contiguës à celle porteuse du solide qui réagissent au niveau du centre de rotation tendent à se répandre au-dessus de lui et à le presser vers le bas. Le corps possédant moins de tourbillons ne « contrebalance » pas autant les petits tourbillons situés en dessous qu'un pareil volume d'éther ; les tourbillons migrent alors vers l'endroit où ils trouvent le moins de résistance. La justification de cette moindre « résistance » repose sur le fait que le centre de la terre résiste et que les petits tourbillons d'une même couche se résistent mutuellement en « une espece d'équilibre » : il ne leur reste alors plus qu'un mouvement possible vers le corps et au-dessus, sans que le détail du mouvement même des tourbillons autour de ce corps ne soit véritablement donné. *A contrario*, Molières et Launay livrent une étude des « tendances » aux mouvements des tourbillons d'un fluide autour d'un corps immergé afin de justifier la mobilité de ce dernier. Ces « tendances » existent du simple fait que les constituants de l'éther possèdent par eux-mêmes un supplément de force conféré par le mouvement en petits tourbillons. La rotation des couches détermine des lignes de forces radiales qui n'existeraient pas si l'éther n'était pas animé d'un mouvement de rotation. Cette rotation assure un mouvement oscillatoire de l'éther dans les mécanismes de Gamaches et Keranflech. Pour ces deux derniers savants, cette rotation sert avant tout à justifier le mécanisme de compression/dilatation des petits tourbillons, tandis que Molières et Launay considèrent la tendance qu'a une couche d'éther à s'épaissir à cause des forces centrifuges des petits tourbillons. Aussi, si comme Molières et Launay, Gamaches et Keranflech recourent à la « tendance » à se dilater des petits tourbillons, ils n'estiment pas que cela suffise pour expliquer la chute : malgré cette « tendance », le mobile tend à conserver sa place dans le fluide et il faut alors attendre la phase de réaction/décompression des tourbillons sur la couche supérieure pour que le corps chute.

La loi de chute repose sur une mathématisation classique : le corps au bout d'un certain temps conserve un état inertiel auquel s'ajoute pendant la même durée suivante la même action du fluide. La justification de cette même action repose sur les propriétés du fluide : les petits tourbillons de même force font un effort sur le corps dont le déplacement implique la migration d'autres tourbillons vers l'endroit laissé vacant et agissant également, migration

aisée du fait de la fluidité du milieu ; pour chaque durée égale une force de même intensité agit. Ces accélérations suivent en réalité une évolution de la forme $\frac{1}{r^2}$, mais les hauteurs des chutes et leurs durées justifient une accélération constante.

Gamaches montre que la « vitesse initiale », autrement dit l'accélération d'un corps, suit celle d'une tranche d'éther. La mathématisation proposée assemble des grandeurs telle que X et C qui représentent respectivement les masses du corps et de la colonne d'éther, bien que C ne définisse pas véritablement une masse ; il s'agit là des limites d'une transposition directe d'une loi du choc à un mécanisme impliquant un fluide aux propriétés sans commune mesure avec les corps sensibles, à savoir notamment une absence de masse. Enfin, tout comme Bouillet, Gamaches confère aussi aux petits tourbillons un rôle important dans le mouvement des planètes. En effet, la loi en $\frac{1}{r^2}$ résulte à la fois de l'équilibre des couches d'éther et d'un raisonnement sur le flux des petits tourbillons à travers des tranches pyramidales. Par ailleurs, ces petits tourbillons permettent de justifier la troisième loi de Kepler et conséquemment l'équilibre de couche qui donne naissance à la loi en $\frac{1}{r^2}$ ¹. Autrement dit, ces savants vont plus loin que Malebranche en attribuant un rôle aux petits tourbillons dans le mouvement des planètes.

NATURE DE LA LUMIERE ET PHENOMENES OPTIQUES

Dans les écrits que nous examinerons ci-dessous portant sur la lumière, tout se passe comme si les débats opposaient d'un côté Malebranche et Huygens à, de l'autre, Newton. L'éther composé de petits tourbillons donne un fondement mécanique à la théorie ondulatoire de Huygens et à ses démonstrations des lois de la réflexion et de la réfraction. Contre Newton, les savants soutiennent que la lumière se propage selon une onde. Newton montre que dans un fluide la pression ne se propage pas en ligne droite à moins que ses particules constitutives ne suivent une telle direction : la pression émanant d'une file de corps durs – ceux du second élément de Descartes – subit une « déviation » lorsqu'à son extrémité se rencontrent des corps placés obliquement. Par ailleurs, la propagation d'une pression à travers un diaphragme dans l'eau, l'air ou plus généralement dans un « milieu élastique » s'étend au-delà du cône que dessinent des droites tirées de la source aux extrémités des fentes, ceci remettant ainsi en cause la propagation rectiligne de la lumière dans un fluide².

La réponse apportée par Molières ou Launay consiste à reconduire l'argument de Huygens, à savoir que la propagation s'étend effectivement comme le conçoit Newton à travers le diaphragme, mais que ces vibrations demeurent insensibles aux yeux au-delà des bornes du cône³. Pour Molières, la possibilité de percevoir la lumière s'explique par la composition d'ondes particulières que chaque point de l'éther émet et dont la résultante forme un front d'ondes, et au-delà du cône ces vibrations ne peuvent pas s'assembler suffisamment pour devenir perceptibles. Ainsi,

1 Pour cette justification de cette loi à l'aide d'une loi de frottements, voir Partie II, Chapitre II.

2 Pour ces arguments voir Newton, *Principes*, TMC, II, Prop. XLI et XLII, p. 394-395 et p. 395-398. Sur l'incompatibilité entre une propagation rectiligne et le milieu composé de corpuscules du second élément de Descartes ou un « milieu élastique » chez Newton, voir Alan E. Shapiro, « Light, pressure, and rectilinear propagation : Descartes' celestial optics, and Newton's hydrostatics », *Studies in History and Philosophy of Sciences*, vol. 5, Issue 3, 1974, p. 239-296 ; Darrigol, *A History of Optics*, p. 80, p. 87-88 et p. 104-106. Voir aussi Hakfoort, *Optics in the age of Euler*, p. 28-35. Molières reconduit contre Descartes une critique de Newton qu'il mentionne à cette occasion : « ces globules [du second élément] ne pouvant toujours être dirigées [sic] en lignes droites, l'action du corps lumineux ne pouvoit se transmettre directement [...] mais [...] elle devoit plutôt se détourner çà & là, & prendre toute sorte de directions obliques », ceci provenant de cette « fausse supposition : que le globules de la matiere éthérée étoient dures [sic] », Molières [1739], Leçon XX, Proposition III, p. 463.

3 Voir Huygens, *Discours de la Cause de la pesanteur*, p. 164-165.

le mouvement de la lumière devant naître comme de chaque point de l'objet lumineux, pour pouvoir faire apercevoir toutes les parties différentes de cet objet, & les particules du corps lumineux, tel qu'est la flamme, qui frappe la matière éthérée avec une grande rapidité, étant trop petites pour que l'action d'une seule de ces parties sur la matière éthérée, puisse faire impression sur nos sens ; il s'ensuit que l'action capable de produire cette impression sensible, ne peut être qu'un résultat d'impressions d'un grand nombre de points, qui se réunissant ensemble dans une tangente sphérique, produise l'effet que l'on éprouve¹.

Et ceci vaut quelle que soit la largeur de la fente, qui comprendra toujours les tourbillons « d'une petitesse inconcevable » nécessaires à la transmission de la lumière, fente dont le rétrécissement permet l'obtention d'un faisceau exemplifiant une propagation rectiligne :

quelque petite que soit l'ouverture [de la fente du diaphragme], la raison est toujours la même pour y faire passer la lumière entre des lignes droites ; parce que cette ouverture est toujours assez grande pour contenir un grand nombre de particules de la matière éthérée qui sont d'une petitesse inconcevable ; de sorte qu'il paraît que chaque petite partie d'onde s'avance nécessairement suivant la ligne droite qui vient du point luisant. Et c'est ainsi que l'on peut prendre des rayons de lumière comme si c'étoient des lignes droites².

L'eau, contrairement à l'éther, ne produit pas en chacun de ses points ces multiples ondes, ce qui explique qu'une onde ne s'y propage pas en lignes droites contrairement à la lumière³.

C. Hakfoort souligne la variété d'interprétations que la théorie de la lumière de Newton peut recevoir au fil des publications du savant. Ainsi, les lectures des *Principia* et les deux premières éditions du *Traité d'optique* (1704 et 1706) fondent la réfraction, la réflexion et l'inflexion sur l'usage des seules forces d'attraction, tandis que la deuxième édition anglaise du *Traité d'optique* (1718) ajoute aux précédentes huit questions où l'éther permet de rendre compte de ces phénomènes optiques – et de la gravitation – par des variations de densités de ce fluide⁴. Malgré tout, il semble « at the end of Newton's chain of explanation, particles and short-range forces were the basic concepts » : l'éther peut presser les particules de lumière et l'élasticité de ce milieu résulte de forces de répulsion à courte distance⁵. Quoi qu'il en soit, les critiques à l'encontre de Newton développées par Molières ou Launay se portent exclusivement sur la théorie de l'émission de particules⁶ et l'explication de phénomènes optiques par le recours à des forces d'attractions dénoncées comme « Métaphysiques »⁷ ; ces critiques se veulent une défense de la théorie ondulatoire⁸.

1 Molières [1739], Leçon XX, Proposition V, p. 486-487. Voir Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 264-266. *A contrario*, le son peut s'entendre au-delà du cône car les « ondes particulières qui s'excitent dans ce fluide très-grossier [l'air] par rapport à la matière éthérée, sont capables d'ébranler séparément [...] les organes de notre corps ». *Ibid.*, p. 266.

2 Molières [1739], Leçon XX, Proposition V, p. 490.

3 *Ibid.*, p. 484-486 ; Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 266.

4 Hakfoort, *Optics in the age of Euler*, p. 35-36. Voir aussi Darrigol, *A History of Optics*, p. 103, qui fait un lien entre l'ordre chronologique d'écriture des « querries » du *Traité d'optique* et la valeur explicative de chacune aux yeux de Newton ; celles portant sur l'action à distance entre rayons lumineux et matière figurent en premier, la représentation de la lumière comme corpuscules suit, et enfin les explications par l'action de l'éther viennent à la fin. Sur cette densité d'éther concernant la réfraction et la gravitation, voir Newton, *Traité d'optique*, Questions XIX à XXI, p. 493-497.

5 Hakfoort, *Optics in the age of Euler*, p. 36.

6 Voir Molières [1739], Leçon XX, Proposition III, p. 465-473 pour cette critique. Sur le rejet de l'existence de « divers genres de petits corps subsistans, plus grands les uns que les autres, qu'il y a de différentes couleurs, & de différents degrés dans chacune de ces couleurs », voir Molières [1736], Leçon IX, Proposition II, p. 359. Voir aussi Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 298-299. Sur ces différentes grandeurs de corpuscules et leurs liens avec les couleurs, voir notamment Newton, *Traité d'optique*, Question XIX, p. 525-531.

7 Sur l'interprétation de l'inflexion et de la réfraction par des forces à distance, voir les critiques de Molières [1739], Leçon XX, Proposition IX, p. 520-522 et Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 273, p. 286-287, qui dénonce l'usage de « forces purement Métaphysiques ». Sur ces forces chez Newton en optique voir *Principes*, TMC, t. I, Propositions XCIV à XCVI, p. 235-240 et *Traité d'optique*, Question XXIX, p. 525-531, Question XXXI, p. 534-583.

8 Au XVIII^e siècle, l'optique newtonienne en Grande-Bretagne et sur le continent repose essentiellement sur la théorie de l'émission sans tenir compte de l'éther introduit par Newton dans ses « Questions » à la fin de son traité d'optique, voir

Par ces critiques, ces auteurs se démarquent aussi de savants tels que Mairan qui, tout en concevant l'existence de petits tourbillons et celle de l'éther, se montre favorable à une théorie de l'émission impliquant des corpuscules de masses différentes, la réfraction s'expliquant par la différence des résistances qu'oppose l'éther dans deux milieux différents. Ainsi, Mairan suppose qu'« un corps qui passe obliquement d'un milieu dans un autre, ne se détourne de la ligne droite qu'à cause que le nouveau milieu où il va se mouvoir, lui résiste plus ou moins que celui qu'il quitte ». Il remarque que « la différence des résistances de deux milieux [est] réciproquement proportionnée à la vitesse des corps qui les traversent » ; si les globules de lumières possèdent des vitesses différentes ils se réfractent ainsi différemment et Mairan ne voit « pas de plus simple & de plus probable » cause de cette diversité de vitesses que les différentes « grosseurs » des corpuscules qui causent ainsi « la différente *refrangibilité* des couleurs de la Lumière »¹.

Les chocs de corps dits « à ressort » donnent à Molières, Launay etc. l'assise théorique permettant d'interpréter tout à la fois la manière dont la lumière se propage ainsi que celle dont ses rayons sont déviés. Les modifications de trajectoires des rayons résultent de changements de densités/pesanteurs des petits tourbillons. Ces auteurs recourent aux corpuscules portés par les tourbillons tels qu'ils se rencontrent dans leurs conceptions de la matière (voir Partie II, Chapitre III) pour justifier un supplément de masse par rapport aux tourbillons de l'éther qui propagent la lumière ; en vertu des lois du choc, les pressions se réfléchissent alors ou se propagent en perdant de leur vitesse et en se réfractant. Là où Malebranche expliquait la réfraction par une inégale pression de tourbillons entre deux milieux (Partie II, Chapitre I), l'hétérogénéité se porte donc ici sur une différence de masses. Par ailleurs, une différence essentielle réside en l'instantanéité de la vitesse de propagation de la lumière chez Malebranche ; pour Molières ou Launay, la variation de la vitesse constitue un élément essentiel de leurs analyses².

LES PETITS TOURBILLONS ET LA NATURE ONDULATOIRE DE LA LUMIERE

Les différents arguments visant à justifier la nature ondulatoire de la lumière s'inspirent directement du *Traité de la lumière* de Huygens³. Ils consistent, d'une part, à développer une analogie avec le son, lequel se propage à la manière de l'onde à la surface de l'eau⁴, puis, d'autre part, à réfuter la théorie de l'émission de corpuscules en critiquant explicitement Newton. Sur ce dernier point, Molières fait siens les propos de Huygens contre l'émission, bien que ceux-ci n'aient pas visé Newton. Ainsi, les rayons de lumière se traversent sans se nuire alors que l'hypothèse de « petits corps [...] voisins les uns des autres » produits depuis le soleil ou depuis les étoiles rend impensable que « ni les uns ni les autres traversant

notamment Darrigol, « The Analogy between Light and Sound from Malebranche to Thomas Young », p. 138-141 ; Geoffrey N. Cantor, *Optics after Newton : Theories of Light in Britain and Ireland, 1704-1840*, Manchester University Press, Manchester, 1983, p. 25-49.

- 1 Mairan, *Dissertation sur la cause de la Lumière*, p. 51-52. Pour cette résistance dans l'explication de la réfraction, voir Mairan, *Suite des Recherches physico-mathématiques sur la reflexion des corps*, p. 343-386 ; nous y revenons dans ce chapitre à la fin de cette partie consacrée à l'optique. Sur l'optique chez Mairan, voir Darrigol, *A History of Optics*, p. 143-145 et Hakfoort, *Optics in the age of Euler*, p. 37-42.
- 2 Sur cette vitesse finie de la lumière, voir Molières [1739], Leçon XX, Proposition III, p. 464. Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 260-263.
- 3 Hakfoort, comme Shapiro, estime que « from about 1700 the *Traité* [le *Traité de la lumière* de Huygens] was almost completely ignored even in research reports from within the medium tradition », voir *Optics in the age of Euler*, p. 53 et p. 56, voir Shapiro, « Kinetics Optics : A study of the Wave Theory of Light in the Seventeenth Century », *Archives for History of Exact Science*, 11, Issue 2-3, 1973, p. 245. Pour les savants examinés dans ce qui suit, Huygens paraît au contraire une source essentielle.
- 4 Huygens développe des analogies pour « comprendre » la « manière » dont la lumière « s'étend » avec son mouvement et celui du son dans l'air ou celui de l'onde dans une eau provoquée par une pierre, voir Huygens, *Traité de la lumière*, p. 3-4 et p. 9-11. Voir Molières [1739], Leçon XX, Proposition II, p. 437-441, Proposition IV, p. 474 et Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 253-255 pour des exemples semblables.

en même tems le même milieu en tant de sens differens, [ne] se détournent [pas] de leurs directions »¹. Face à la théorie de l'émission Molières écrit ne voir « aucun inconvénient de penser avec M Huguens »² que la lumière se propage dans l'éther : « la Lumiere dans un milieu homogene n'est autre chose qu'un mouvement propagé en forme d'ondes sphériques, dans les particules de matiere étherée »³. La naissance de la lumière s'explique par une rupture d'équilibre entre les petits tourbillons du premier ordre et ceux de l'huile contenus dans un corps lumineux qui s'agrandissent (voir Partie II, Chapitre III) : en « s'étendant », ils « excitent » dans l'éther, « milieu élastique », des ondes sphériques, comme les vibrations continuelles d'un corps sonore en excitent dans l'air⁴. Molières s'appuie donc Huygens comme caution scientifique contre Newton et par cette conception de la lumière il entend « facilement rendre raison de toutes les singularités que M. Newton a observées sur la lumiere & les couleurs »⁵ : il s'agit là d'intégrer les acquis expérimentaux de Newton dans le cadre théorique du « mécanisme réformé ».

Les chocs de corps élastiques permettent de rendre compte de la propagation de la lumière sous la forme d'une vibration. Lors de collisions de « boules égales » et « à ressort », si N vient heurter la « file de boules $ABCDE$ » (Fig. 24) toutes au repos et en contact, le mouvement de N se transmet successivement de N à A puis de A à B etc. en temps égaux et seul E possède la vitesse de N , les autres corps demeurant au repos⁶. Puis, « si les vibrations de la boule N sont isochrones ou d'une égale durée, le mouvement produit par la suite des coups qu'elle donnera à la boule A se transmettra perpetuellement dans la suite des boules en tems égaux par des espaces égaux »⁷.

Par ailleurs, si C appartient à deux files frappées chacune à l'une de leurs extrémités, « ces mouvemens pourront se croiser en [C] sans se détruire » car C « ayant de l'étenduë, elle [cette boule] peut faire ressort de toutes parts, & n'étant pas obligée de sortir de sa place, rien n'empêche qu'elle ne puisse transmettre tous ces divers mouvement dans les boules qui l'environnent & qui n'ont pas besoin non plus qu'elle de sortir de leurs places pour produire cet effet, & demeurent en repos lorsque les ressorts de la boule [C] agissent contre elles. Ce que l'expér. confirme »⁸. De ceci (Fig. 25) « peut bien encore [se] concevoir qu'une boule n , venant à frapper directement une autre boule a , qui en touche plusieurs autres b, c, d , le mouvement de n passant dans a , se transmettra en b, c, d , & formera ce qu'on appelle une onde »⁹. Ces trois exemples de collisions qui permettent de penser et de justifier la possibilité de formation et de propagation d'une « onde sphérique » dans l'éther figurent chez Huygens¹⁰. Il suffit alors de remplacer les différentes boules de Huygens par des petits

1 Molières [1739], Leçon XX, Proposition III, p. 469. Molières cite un long passage (*ibid.*, p. 466-467) du livre de Huygens, *Traité de la lumiere*, p. 2-3.

2 Molières [1739], Leçon XX, Proposition III, p. 472.

3 *Ibid.*, Proposition IV, p. 473-474.

4 *Ibid.*, p. 474. Ainsi, la « lumiere du Soleil nous est transmise par les vibrations que les molécules enflammées de l'huile que son atmosphère contient, excitent dans le second élément », Molières [1736], Leçon IX, Proposition IV, p. 374. Voir Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 256-258.

5 *Ibid.*, Proposition III, p. 473.

6 *Ibid.*, Proposition IV, p. 475-476. La boule A choquée par N « s'avance d'abord tant soit peu vers B ; mais elle revient aussitôt en A , où elle demeure en repos », de même pour B par rapport à C etc. Cette règle figure dans Molières [1739], Leçon XVIII, Proposition III, p. 361-362. Le raisonnement impose des boules « égales » autrement les chocs seraient susceptible de produire des réflexions.

7 Molières [1739], Leçon XX, Proposition IV, p. 476-478. Ainsi, le mouvement produit par le second coup peut se trouver en A et celui par le premier en B ; celui par le troisième en A , par le second en B , par le troisième en C . Ou bien encore le troisième en A , le second en C et le premier en E . Les vibrations (ou plutôt leur propagation) peuvent ainsi être « plus lentes » mais si « les intervalles AC, CE , ou AB, BC [...] sont d'abord égaux, ils continueront toujours de l'être ».

8 *Ibid.*, Leçon XVIII, Proposition III, p. 363-364.

9 *Ibid.*, Leçon XX, Proposition IV, p. 478.

10 Huygens, *Traité de la lumiere*, p. 11-14 et p. 16. Molières emprunte par ailleurs la Fig. 8 ci-dessus au *Traité de la lumiere*.

tourbillons¹ qui, plus petits que ceux de l'air, possèdent une plus grande force centrifuge ce qui rend alors compte de la plus grande vitesse de propagation de la lumière que du son².

Cette propagation se fait suivant une droite, ce que Molières justifie en partant, « avec M. Huguens », des principes que « le mouvement de la lumière [naît] de chaque point de l'objet lumineux, pour pouvoir [en] faire apparaître toutes les parties » et que « chaque particule du corps lumineux qui forme son ondulation étant trop petite, pour exciter dans l'organe de la vûë un mouvement sensible ; c'est une nécessité que plusieurs de ces ondulations, qui procedent d'un grand nombre de ces points voisins les uns des autres, s'unissent pour faire cette impression »³. Dès lors, si une source *A* (Fig. 26) produit une onde, chacun des points de cette dernière devient le centre d'une nouvelle onde, et toutes possèdent la même vitesse de propagation que la première. Molières considère le front d'onde que dessine la sphère de centre *A* tangente aux nouvelles ondes créées : chaque onde en particulier, « trop foible », ne peut pas « produire [l']ébranlement » des « fibres de la rétine » mais « l'action capable de produire cette impression sensible, ne peut être qu'un resultat d'impressions d'un grand nombre de ces points, qui se réunissant ensemble dans une tangente commune sphérique, produisent l'effet que l'on éprouve »⁴ ; un raisonnement semblable, directement inspiré de Huygens, apparaît chez Launay⁵. Si une telle onde de lumière *CF* (Fig. 26) rencontre un obstacle *GK* percé d'un trou *HI* de centre *L*, « la portion de l'onde de lumiere *HLI* qui passe par ce trou, ne se propagera pas comme le fait la portion de l'onde de l'eau *HI* » laquelle se répand latéralement ; les points *H*, *L*, *I* de l'onde lumineuse forment une onde particulière, chacune trop faible pour être sensible, « mais toutes ces ondes se réunissant dans la tangente commune sphérique *MNO*, qui a pour centre le point *A* d'où elles arrivent en même tems ; ce ne sera que dans les points *M*, *N*, *O* que ces ondes pourront faire une impression sensible »⁶. D'où résulte la propagation en ligne droite de la lumière qui « n'éclaire aucun objet que quand le chemin depuis sa source jusqu'à cet objet est ouvert suivant de telles lignes » ; l'onde issue de *A* « sera toujours terminée par les droites *AHM*, *AIO* » car les « ondes particulières qui s'étendent hors de l'espace *MAO*, [sont] trop foibles pour y produire de la lumiere » (*ibid.*, p. 489-490). Quelle que soit la grandeur de l'ouverture *HI*, celle-ci « est toujours assez grande pour contenir un grand nombre de particules de la matiere étherée qui sont d'une petitesse inconcevable » et ainsi « faire passer la lumiere entre des lignes droites » issues de *A* (*ibid.*, p. 490)⁷.

1 Huygens suppose « les particules de l'ether estre d'une matiere si approchante de la dureté parfaite & d'un ressort si prompt que nous voulons », *ibid.*, p. 13.

2 Molières [1739], Leçon XX, Proposition IV, p. 480.

3 *Ibid.*, p. 481-482. Raisonnements et arguments identiques chez Huygens, *Traité de la lumiere*, p. 15 et p. 16-17. Molières illustre ces deux principes en prenant de Huygens la même l'illustration : les différents points d'une flamme de bougie sont autant de sources d'ondes qui s'ajoutent.

4 Molières [1739], Leçon XX, Proposition V, p. 486-488. Pour justifier ceci, Molières note que « des ondes produites par des corpuscules si petites (sic) ne pourroient s'étendre à des distances immenses, depuis le Soleil ou les Etoiles fixes, jusqu'à nous : la force de ces ondes s'affoiblissant à mesure qu'elles s'écartent de leur origine, si à de certaines distances du corps lumineux une infinité d'ondes, quoiqu'issuës de points differens, ne s'unissoient en sorte que sensiblement elles ne composassent qu'une onde seule, qui aura par ce moyen assez de force pour ce faire sentir. De sorte que le nombre infini d'ondes qui naissent en même instant de tous les points d'une Etoile fixe, grande peut-être comme le Soleil, ne sont sensiblement qu'une seule onde qui se renouvelle à chaque instant, & qui a assez de force pour faire impression sur nos yeux », *ibid.* Pour cette formation d'une onde à partir d'autres, voir Huygens, *Traité de la lumiere*, p. 15-18.

5 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 264-265. Si Keranflech n'est pas explicite sur ce point, sa réfutation de l'émission newtonienne et l'élasticité du milieu qu'il compose de petits tourbillons laisse envisager qu'il s'associe à la conception de Molières, voir Keranflech, *L'hypothèse des petits Tourbillons*, p. 73-75.

6 Molières [1739], Leçon XX, Proposition V, p. 488-489.

7 Raisonnement identique chez Huygens, *Traité de la lumiere*, p. 18-20. Voir aussi Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 265-267.

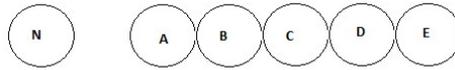


Fig. 24 : Molières [1739], fig. 37

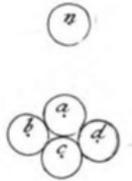


Fig. 25 : Molières [1739], fig. 38

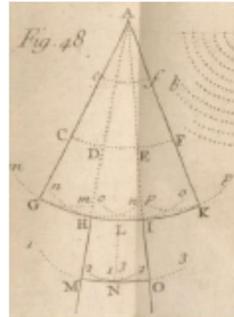


Fig. 26 : Molières [1739], fig. 48

Cette même idée de propagation ondulatoire figure dans le prix de l'Académie royale des sciences de 1736 remporté par Jean (II) Bernoulli qui, tout en développant une théorie sur la nature de la lumière inspirée par Malebranche s'en démarque cependant¹. Tout d'abord, la « communication » entre des corps éloignés ne peut se faire que par « le mouvement de quelque matière qui va de l'un à l'autre »². Pour Bernoulli, « s'il est permis à Mrs les Newtoniens de supposer une attraction universelle [...] quoi qu'ils n'en puissent alléguer aucune cause physique compréhensible ; à plus forte raison nous sera-t-il permis de supposer une force dilatatrice qui se trouve dans une matière très-subtile, qui remplit les vastes espaces du Monde » ; un principe dont « on peut au moins en avoir une idée claire, & rendre quelque raison physique d'une telle force qui tend à écarter » car « y a-t-il rien de plus intelligible que la production du mouvement par impulsion ? » (*ibid.*, p. 8-9). Bernoulli s'enquiert alors de l'origine de la « force mouvante » susceptible de produire cette si grande vitesse que possède la lumière. Il montre, dans un premier temps, qu'une matière peut être animée d'une telle vitesse : une « force mouvante », d'une intensité quelconque, identifiée à une « pression appliquée continuellement pendant un tems, grand ou petit, à mouvoir quelque corps », peut imprimer le « degré de force accélératrice que l'on voudra sur un corps » pourvu qu'il « soit d'une masse assez petite » (*ibid.*, p. 5-6)³, l'action d'un ressort se débandant sur un corps illustre ceci. Bernoulli en vient ensuite au système du monde et a manifestement ce mécanisme du ressort à l'esprit lorsqu'il s'interroge « s'il ne peut pas y avoir une force universelle répandue par tout l'Univers, qui fasse un effort continuel de se dilater en tout sens, & qui se dilate effectivement dès qu'en quelque endroit la résistance qui la retient en équilibre vient à être ôtée ou diminuée » (*ibid.*, p. 6-7). Un tel « principe de dilatation » n'est pas « essentiel » à la matière qui est passive car « on conçoit la matière sans y comprendre la vertu de se dilater nécessairement » (*ibid.*, p. 8), et pour comprendre son « ressort » ou sa « force élastique » il faut « une matière universelle qui soit élastique » : Bernoulli écrit ne rien trouver de plus propre que « les petits tourbillons du P. Malebranche » (*ibid.*, p. 9)⁴, lesquels tendent continuellement à se « dilater » par leurs forces centrifuges et à s'équilibrer mutuellement.

1 Sur ce mémoire, voir Hakfoort, *Optics in the age of Euler*, p. 60-65 et Darrigol, *A History of Optics*, p. 146-149.
 2 Jean (II) Bernoulli, *Recherches Physiques et Géométriques sur la Question : Comment se fait la Propagation de la Lumière*, dans *Recueil des pièces qui ont remporté le prix*, t. III, p. 4-5.
 3 Bernoulli nomme f cette « force mouvante », m la masse du corps et a « la force accélératrice » qu'il reçoit par f , ce qui conduit à la relation $f = ma$: pour une valeur de f donnée, si m diminue d'un facteur n , a augmente d'autant.
 4 *Ibid.* « Je conçois donc avec évidence qu'il est possible, & même probable, que la matière de l'éther est un fluide composé originellement d'une infinité de petits tourbillons, mais si petits qu'ils peuvent passer très-librement par les pores les plus étroits des autres corps fluides ou solides ».

Bernoulli ne fait pas de l'espace un ensemble homogène constitué uniquement par la matière subtile, mais conçoit cet « amas de petits tourbillons [...] parsemé de corpuscules très-subtils, durs ou solides, laissant entre eux des intervalles » à « peu près égaux », « uniformément dispersés parmi les petits tourbillons », ayant « différente grandeur », et de telle sorte que « chaque ligne droite tirée d'un point à l'autre enfilera une infinité de ces petits corpuscules » (*ibid.*, p. 10) ; il ne justifie pas ici la dureté de ceux-ci mais, manifestement, il l'attribue à la pression des petits tourbillons¹. Ces corps, « également pressés de tout côté par les tourbillons qui les environnent », demeurent au repos, mais qu'une force chasse un corpuscule selon une certaine direction, alors

l'équilibre ne pourra plus se soutenir puisqu'il est clair que les petits tourbillons situés entre le corpuscule poussé & le plus voisin sur la même ligne de direction, seront comprimés en forme de ressort, & pousseront par conséquent aussi ce second corpuscule, ensuite le troisième, le quatrième, &c. jusqu'à un grand nombre, avant que la compression soit entièrement achevée, ce qui étant fait, les tourbillons en se restituant sur le champ, repousseront les corpuscules, & même au de-là de leur centre de repos, presque autant qu'ils s'en étoient écartés de l'autre côté, d'où ils seront chassés & rechassés une seconde fois, & ainsi de suite, faisant un grand nombre de réciprocations en forme d'oscillations ou de vibrations, mais très-petites & très-promptes².

La force à l'origine de la rupture d'équilibre vient des « particules solides, agitées en tous sens avec beaucoup de violence » dont se composent « le Soleil, les étoiles, la flamme, les charbons ardents &c. », lesquelles « frappent » sans cesse l'« éther élastique » constitué de petits tourbillons et comprenant des corpuscules : « chaque point physique de la surface de ce corps [lumineux] doit être capable d'exciter une infinité de rayons ; savoir autant qu'il y a de lignes droites tirées de ce point comme d'un centre vers la surface d'une sphere ». Chacune de ces droites comprend des tourbillons et des corpuscules, et Bernoulli donne le nom de « fibre lumineuse » au segment tiré de la source du mouvement jusqu'à la fin de la première compression dont la longueur dépend de la grosseur des corpuscules et de la file des tourbillons ; « un rayon de lumière est une suite ou une chaîne composée d'un grand nombre de fibres lumineuses mises bout à bout sur une ligne droite » (*ibid.*, p. 11-12). Le système de propagation s'identifie à un mécanisme combinant des corps reliés entre eux par des ressorts (*ibid.*, p. 17-20)³.



Fig. 27 : J. (II) Bernoulli, *Recherches Physiques et Géométriques* (1738), fig. III

Soient sur une droite AG (Fig. 27) les particules de masses égales B, C, D, E etc. séparées par une même distance et chacune également pressée par les petits tourbillons entre ces masses le long de AG . Si D reçoit un choc et migre vers d , le « fluide élastique » entre DC pousse C vers c , « en sorte que le fluide DC occupera présentement une moindre étendue dc » ; BC se condense alors, B migrant vers b avec la distance Bb plus petite que Cc et ce « jusqu'à ce que la densité devienne si grande vers l'extrémité, que l'accroissement [des] compressions ne soit plus sensible » comme par exemple en A . Simultanément, lorsque D va

1 Bernoulli mentionne que Newton considère « la force élastique de l'éther [...] 490000000000 fois plus grande que celle de l'air qui nous environne », et conclut alors « on laisse à juger si on n'est pas en droit d'attribuer la cause de la plus parfaite dureté à une si prodigieuse force avec laquelle les parties des corps solides sont comprimées par l'éther les unes contre les autres, ainsi que déjà le P. Malebranche l'a heureusement conjecturé », *ibid.*, p. 41-42. Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 261 utilise aussi le même argument. Pour cette proportion entre les « forces élastiques » de l'air et de l'éther chez Newton, voir *Traité d'optique*, Question XXI, p. 496.

2 Bernoulli, *Recherches Physiques et Géométriques*, p. 10-11.

3 Bernoulli considère le « fluide élastique », autrement dit l'éther, comme « un ressort sans matière », p. 25-26.

en d , « le fluide ED ne trouvant plus tant de résistance du côté de D , se raréfiera en s'étendant vers ce côté, & [...] par conséquent la particule E perdant son équilibre, sera poussée en e par le filament plus dense EF ». Pour la même raison, F migre vers f , et ainsi de suite, « jusqu'à ce qu'à la fin la propulsion, allant toujours en diminuant de distance en distance, s'évanouisse entièrement » en G avec des « propulsions décroissantes $Ee, Ff, \&c.$ dans le même ordre & de la même quantité que les antécédentes font leurs excursions par $Dd, Cc, \&c.$ jusqu'à l'autre terme A », et avec « la longueur DA [...] sensiblement égale à la longueur DG » ; AG correspond à « une fibre, soit lumineuse, soit sonore ». Les particules sont « resserrées » vers A et « dilatées » vers G , et l'éther condensé du côté de A et plus rare vers G repousse les particules et les font atteindre $(b), (c), (d), (e), (f)$ de telle sorte que $B(b) = Bb, C(c) = Cc$ etc. : « toutes les vibrations de la fibre, fortes ou foibles, doivent être d'égale durée » (*ibid.*, p. 25-26). Par ailleurs, concernant la matière subtile en A

non seulement elle repoussera les particules de la première fibre [AG], mais se répandant aussi du côté opposé, elle mettra en agitation les particules qu'elle trouve dans la région L , & y produira une nouvelle fibre qui sera secondaire, mais semblable & égale à la première, composée de particules ou de corpuscules de même grosseur que ceux de la première [...] On voit que quand la fibre principale ou la première [AG] finit sa première vibration, la nouvelle fibre commence sa première vibration [...] Par la même raison & de la même manière, la seconde en engendre une troisième, la troisième une quatrième, & ainsi consécutivement [...] D'où il suit qu'à chaque retour de la fibre principale, il s'en forme une nouvelle, qui fait sa première vibration (*ibid.*, p. 27-28).

La formation de « fibres » se fait aussi du côté de GM suivant le même raisonnement, et « ces chaînes de fibres [...] sont ce qui nous vient sous l'idée de *Rayons de lumière*, si c'est la lumière originale qui les excite en frappant contre l'éther élastique, & qui peuvent fort bien être appelés *Rayons sonores*, lorsque ce n'est que l'air grossier & élastique qui reçoit la première agitation par quelque corps frémissant » (*ibid.*, p. 29).

Manifestement, le mécanisme proposé par Bernoulli a pour but premier de rendre raison de la propagation rectiligne de la lumière, explication qu'il juge insatisfaisante par la « *Méthode des Ondes* » de Huygens (*ibid.*, p. 12-13)¹ ; Launay l'interprète ainsi². Bien que les corpuscules de grosseurs différentes se côtoient, quand la source lumineuse produit une « agitation » dans ce milieu, « les corpuscules se sépareront & se rangeront de telle manière, que toutes les fibres soient composées de corpuscules égaux » et il se formera des fibres de différentes grosseurs :

enfin, cela dépend du hasard : selon qu'une certaine fibre qui se produit a son premier corpuscule, qui est le plus proche du point lumineux, d'une certaine grosseur, cela suffit pour faire que tous les corpuscules de la même grosseur, qui se trouve entre les deux extrémités de la fibre, y demeurent & commencent à

1 Bernoulli note que selon la méthode de Huygens « la lumière doit se faire sentir le plus sensiblement suivant la direction de la ligne qui coupe perpendiculairement toutes ses ondes », tout en s'interrogeant si « on ne sentira pas le moindre effet, dès que la direction devient tant soit peu oblique », comme cela est le cas pour le son. Aussi, comment dans l'hypothèse de Huygens expliquer qu'un trou percé sur une paroi d'une chambre noire laisse paraître du soleil une image « si bien terminée & si directement opposée, sans qu'aucune trace de quelque foible lueur paroisse autour » ? Selon Bernoulli, la propagation du son possède avec celle de la lumière « beaucoup d'affinité » mais l'expérience montre que le premier se fait entendre en ligne droite et « en procédant par des obliquités & des détours, ce que les rayons de la lumière ne font nullement », *ibid.*, p. 13. Suivant le modèle des « fibres lumineuses », Bernoulli conçoit aussi des « fibres sonores » ; ces dernières sont composées par les corpuscules de l'air de « masses » plus grandes que ceux au sein de l'éther qui participent à la définition des rayons lumineux. Il ajoute que « les rayons de lumière vont toujours en ligne droite, parce que les corpuscules sont incompressibles (sic), & ne peuvent ainsi s'étendre sur les deux côtés de leurs directions », alors que « les petites parties de l'air qui dans les fibres sonores tiennent lieu de corpuscules » sont « condensables », et ainsi lors d'une pression dans la direction d'une fibre sonore, « ces parties [de l'air] se comprimeront sur la direction de la fibre, & s'étendront par-là en largeur sur les deux côtés, ce qui fera naître de nouvelles fibres accessoires qui sortent de la principale comme des branches, & qui peuvent porter aussi le son, quoique plus faiblement, par des voyes obliques », *ibid.*, p. 24-25.

2 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 263-264.

participer à l'agitation du premier corpuscule ; les autres, plus ou moins gros, n'ayant pas la disposition de suivre avec la même facilité l'ébranlement primitif, seront expulsés se côté & d'autre de la fibre, pour aller se ranger parmi leurs semblables en d'autres fibres qui leur conviennent¹.

Bernoulli utilise une analogie avec le phénomène de résonance pour le son afin de justifier « ces sortes de mouvements communicatifs dans les corps d'une même disposition au mouvement » : dans un ensemble de plusieurs cordes dont certaines à l'unisson, la mise en mouvement d'une de ces dernières entraîne des vibrations sur celles tendues sur le même ton (*ibid.*, p. 15, p. 54). Bernoulli remarque que Newton « attribué aussi la diversité des couleurs à la différente grosseur des petits corpuscules solides », et mentionne plus loin « la grosseur & la force des particules », mais Newton suppose ces corps émis de la source lumineuse : Bernoulli remarque que « selon ma Théorie, ces corpuscules capables de faire sentir le lumière, se trouvent par-tout dispersés dans l'éther élastique » (*ibid.*, p. 15). Une fibre se définissant par une suite de corpuscules de même grosseur, elles se distinguent entre elles par des différences de tailles de particules et, un « nombre prodigieux » de rayons « pourra être contenu sous un volume insensible, comme des poils très-fins dans un même pinceau, qui ne se distinguent les uns des autres qu'en se dispersant par la différente réfrangibilité, & en représentant différentes couleurs » (*ibid.*, p. 29).

Si Bernoulli paraît redevable à Malebranche pour sa conception de l'éther, le savant se montre cependant sceptique à l'égard de la théorie des fronts d'ondes puisqu'il l'estime non susceptible de rendre compte de la trajectoire rectiligne de la lumière : une critique qui vaut autant contre Huygens, ici visé, que Malebranche, Molières ou Launay. Ce dernier, tout comme D'Alembert, critique le mécanisme mis en place par Bernoulli en remarquant que son système n'empêche pas une propagation ondulatoire selon toutes les directions par la pression des tourbillons². Newton, notamment par ce lien entre la taille des corpuscules et les couleurs, paraît une source d'inspiration pour Bernoulli³. Bernoulli participe de cette pratique déjà évoquée dans le chapitre précédent : il confère une certaine matérialité à la lumière tout comme des savants le faisaient pour le feu, et ne reconduit donc pas à la lettre les conceptions de Malebranche. Pour Molières, Huygens fournit les éléments pour une théorie de la propagation d'ondes émises dans un milieu homogène à chaque point de la source et pour leur « union »⁴. Mais il faut aussi « adapter le système de M. Huguens à celui des petits tourbillons », ceci passant à la fois par une explication de la naissance de la lumière grâce à une rupture d'équilibre entre les molécules d'huile et des petits tourbillons, puis par la

1 Bernoulli, *Recherches Physiques et Géométriques*, p. 14.

2 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 263-264 : « il [Bernoulli] dit que les *fibres lumineuses* ne doivent avoir que des *vibrations longitudinales*, & non pas des *vibrations latitudinales*, parce que ces petits corps solides [les corpuscules que Bernoulli conçoit disséminés dans l'éther] sont incompressibles (sic). Mais il me paroît que s'il y avoit quelque difficulté à expliquer la propagation de la lumière en lignes droites, à cause que les petits tourbillons se peuvent comprimer, M. Bernoulli ne l'éviteroit pas par ses corps solides. Car pour que la lumière ne se répande pas par lignes droites, il n'est pas requis dans son hypothèse que les petits corps solides, qui sont retenus par le ressort de l'éther, dans un *centre d'équilibre forcé*, puissent s'affaïsser & exciter par-là des *vibrations latitudinales* ; mais il suffit que l'éther qui donne à ces petits corps tout leur mouvement, soit comprimé, de façon qu'il puisse agir selon plusieurs directions. Or il est évident que l'éther que M. Bernoulli admet, étant composé de tourbillons, chaque *fibre lumineuse* doit s'affaïsser, & exciter par-là dans son système, aussi-bien que dans celui de M. Huguens, des *vibrations latitudinales* qui s'opposeroient à la propagation de la lumière en lignes droites. Il vaut donc beaucoup mieux penser avec M. Huguens ». D'Alembert écrit que « le fond du système de cet auteur [Bernoulli] est [...] sujet à toutes les difficultés ordinaires contre le système de la propagation de la *lumière* par pression », ces difficultés étant celles évoquées par Newton dans sa dénonciation de l'impossibilité d'une propagation rectiligne en supposant la lumière produite par une pression d'éther, voir « Lumière », *Encyclopédie*, t. IX, p. 722a et p. 718a-719b pour ces critiques de Newton. Cet article ne porte pas de signature mais un renvoi à l'entrée « Couleur » (« nous avons déjà remarqué à l'article COULEUR ») rédigé par D'Alembert laisse supposé que ce dernier en est bien l'auteur.

3 Ce que souligne Hakfoort, *Optics in the age of Euler*, p. 61. Hakfoort évoque aussi la possible influence de Mairan qui, par analogie avec l'association corpuscules-couleurs de Newton, conçoit des particules d'air capable de transmettre des tons particuliers.

4 Molières [1739], Leçon XX, Proposition V, p. 481.

justification du « ressort » des globules d'éther, élasticité que Huygens admet sans en donner la cause mécanique selon Launay et Bernoulli. Ainsi, selon Launay, « il faut expliquer deux choses : 1° D'où vient cette agitation continuelle du soleil, qui fait qu'il excite sans cesse des ondes sphériques dans la matière étherée qui l'environne de toutes parts. 2°. Quelle est la cause du ressort des particules d'éther ». L'ébranlement produit par le soleil sur l'éther « ne servira de rien, si les particules de l'éther n'étoient pas élastiques ; M. Huguens les a supposées telles, sans donner raison de leur ressort »¹. Bernoulli écrit que « Mrs. Huygens & Newton, en traitant de la propagation de la lumière, ont supposé que l'éther, comme le véhicule de la lumière, est actuellement élastique par lui-même ; ils l'ont supposé simplement, sans en indiquer aucune raison physique »².

Comme le note Molières, « le principe [...] de l'ondulation », soit le mécanisme de propagation d'une onde dans un éther élastique, « s'accorde parfaitement au système des petits tourbillons » ; il cherche alors à déduire dans ce système « tous les autres effets de la lumière, comme l'a fait M. Huguens », qu'il entend « continuer de suivre pas à pas dans cette recherche »³.

REFLEXION, REFRACTION ET DIFFRACTION : LE ROLE DES TOURBILLONS

Pour établir les lois de réflexion et de réfraction, Molières s'appuie sur les démonstrations du *Traité de la lumière* de Huygens⁴. Tout d'abord, Molières critique Descartes qui supposait que « plus un milieu étoit dense, moins il résistoit à l'action de la lumière, ce qui est tout le contraire de ce qui arrive aux corps sensibles » : pour Descartes, un rayon dans une lame de verre subit plus de résistance que dans l'air et se rapproche de la normale séparant les deux milieux⁵. Molières estime qu'« il est bien plus convenable de penser que les molécules de la matière étherée sont plus denses dans un corps plus dense, que dans un corps moins dense », idée qu'il convient d'associer au « principe même de l'ondulation », à savoir cette conception de la propagation de la lumière basée sur les petits tourbillons et non plus sur les corpuscules durs du second élément⁶. Molières suppose alors, en conformité avec les « lois des mécaniques » : 1/que les pores de corps transparents sont remplis de petits tourbillons et que plus la densité de ces corps augmente, plus celle des tourbillons compris dans leurs pores croît aussi ; la vitesse de propagation des ondes lumineuses suit alors l'évolution inverse en diminuant ; 2/ « les ondes de lumière se transmettent dans ces milieux d'autant plus lentement que ces petits tourbillons, sont plus denses »⁷. Nous verrons, ci-dessous, que la « densité » des tourbillons ici évoquée par Molières est liée à la matière autre que l'éther, à savoir des corpuscules transportés par les petits tourbillons suivant les descriptions données dans le chapitre précédent ; ici, l'usage du mot diffère ici de celui utilisé par ce même Molières

1 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 255 et p. 259.

2 Bernoulli, *Recherches Physiques et Géométriques*, p. 8.

3 Molières [1739], Leçon XX, Proposition VI, p. 496-497.

4 Huygens, *Traité de la lumière*, p. 21-23 pour la réflexion et p. 32-37 pour la réfraction.

5 Molières [1739], Leçon XX, Proposition VI, p. 494-496. Descartes considère une balle et un rayon de lumière passant de l'air dans l'eau, la lumière se rapprochant davantage de la normale, le savant commentant alors « ce que vous cesserez toutes-fois de trouver estrange, si vous vous souvenés de la nature que j'ay attribuée à la lumière, quand j'ay dit qu'elle n'estoit autre chose, qu'un certain mouvement ou une action receuë en une matière tres-subtile, qui remplit les pores des autres cors ; & que vous considériés que, comme une bale perd davantage de son agitation, en donnant contre un cors mou, que contre un qui est dur, & qu'elle roule moins aysement sur un tapis, que sur une table toute nuë, ainsi l'action de cete matière subtile peut beaucoup plus estre empeschée par les parties de l'air, qui, estant comme molles & mal jointes, ne lui font pas beaucoup de resistance, que par celles de l'eau, qui lui en font davantage ; & encores plus par celles de l'eau, que par celles du verre, ou du cristal. En sorte que, d'autant que les petites parties d'un cors transparent sont plus dures & plus fermes, d'autant laissent elles passer la lumière plus aysement : car cete lumière n'en doit pas chasser aucunes hors de leurs places, ainsi qu'une bale en doit chasser de celles de l'eau, pour trouver passage parmy elles », Descartes, *La Dioptrique*, AT VI, p. 103.

6 Molières [1739], Leçon XX, Proposition VI, p. 495-497.

7 *Ibid.*, p. 497.

Après cette démonstration purement géométrique, et dont les grandes lignes figurent chez Huygens¹, Molières donne « une raison très mécanique de cet effet »². En effet, pour l'obtention d'une égalité des angles, « il suffit que les molécules de la lumière qui sont dans les pores de la superficie réfléchissante, soient tant soit peu plus denses ou plus pesantes que ne sont celles qui sont dans les pores de l'air, afin que selon les loix de la percussion des corps à ressort, les molécules soient repoussées en arrière » (*ibid.*, p. 504-505). Les « globules de l'éther » de l'onde lumineuse reçoivent « en arrière » un mouvement en vertu du « rétablissement du ressort » qui se fait dans une durée égale à celle de la compression. Dans une réfraction, ces tourbillons frappant « les molécules du corps réfringent » forment aussi une onde réfléchie se propageant avec autant de vitesse que s'il n'y avait pas eu de choc : Molières considère que (Fig. 28) « le mouvement du point *B* de l'onde *AE*, étant parvenu en *R* où il rencontre la superficie de l'eau, puisse se transmettre presque entièrement dans les molécules de l'eau ; cependant si les molécules de l'éther qui ont transmis ce mouvement, reçoivent en *R* quelque mouvement en arrière ; ce mouvement quoique foible produira dans l'éther une ondulation *202* qui arrivera en tems égal à celui qu'il auroit employé à parvenir en *b*, s'il n'avoit rencontré aucun obstacle ». Or, poursuit Molières, « il n'y a pas d'autre condition à requérir [...] pour que l'angle d'incidence soit égal à l'angle de réflexion » (*ibid.*, p. 505-507). En somme, l'assimilation des petits tourbillons à des corps parfaitement élastiques implique une égalité de la durée de compression-restitution qui en retour entraîne l'identité des longueurs parcourues par l'onde qui subit une réflexion (en *R* et qui parvient au bout d'un certain tems en *F*) ou non (elle se propage pendant la même durée jusqu'en *b* en l'absence de réfraction et de réflexion), ceci ramenant alors à la démonstration géométrique précédente laquelle ne requiert rien d'autre que cette égalité de chemins franchis en une même durée.

Pour sa part, Launay estime inutile de recourir à « la *methode des ondes* » pour déterminer la loi réflexion, « tout le monde sachant bien que les ondes doivent se propager de la même façon que les pressions se communiquent »³. Il évoque tout d'abord « cette opinion reçue aujourd'hui le plus grands nombre des Physiciens », à savoir que les « parties solides des corps » ne causent pas la réflexion, mais que celle-ci se produit seulement par « le fluide élastique » compris dans leurs pores, fait que Molières n'évoque pas et tient manifestement pour acquis⁴. Launay suppose alors qu'un grand nombre de tourbillons remplit les pores des surfaces et, comme Molières, que « dans les corps plus denses, la masse de ces petits tourbillons est plus grande, comme il est naturel de le penser »⁵. Cela posé, il suffit pour l'obtention de l'égalité des angles que seule change « la détermination » du rayon de lumière, à savoir sa direction ; il faut que la « pression » d'une « file de tourbillons » faisant un angle avec la perpendiculaire à la surface passe dans une autre file inclinée du même angle par rapport à cette normale. Launay considère deux rangées de « boules élastiques » et « semblables » pour ces deux files et suppose qu'une boule vienne heurter l'extrémité de l'une d'elles. Le mouvement se communique jusqu'au dernier mobile qui, arrêté par un plan, agit selon la direction de la vitesse reçue : « il y aura une décomposition de forces, en vertu de laquelle, aussi bien que du rétablissement du ressort, cette boule devrait se réfléchir en faisant

1 Huygens, *Traité de la lumière*, p. 21-23.

2 Molières [1739], Leçon XX, Proposition VII, p. 507.

3 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 270.

4 Une « opinion reçue » établie chez Newton pour la réflexion et la réfraction, *Traité d'optique*, Proposition VIII, p. 359-370. Voir Mairan, *Recherches physico-mathématiques sur la réflexion*, p. 50 qui renvoie à « l'Optique de M. Newton ». Mairan, *Suite des recherches physico-mathématiques*, p. 365-366 ajoute que « M. Newton, & le P. Malebranche le reconnoissent [que les « les parties solides » ne sont pas la cause de la réfraction et de la réflexion], & admettent l'un & l'autre, quoique sous des aspects un peu differens, un fluide subtil qui remplit les pores & les interstices des parties solides de tous les corps », Mairan renvoyant à la Proposition VIII de Newton et à « Malebr. *Rech. de la Ver. Eclairc. sur la Lum.* » ; pour Malebranche, voir Partie II, Chapitre I.

5 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 268.

un angle de réflexion égal à celui que fait avec la perpendiculaire sur le plan, la direction de la boule choquante ». Le chemin que devrait suivre la boule subissant la réflexion « est occupé par une rangée de boules élastiques semblable à la première file », aussi lui communique-t-elle son mouvement ; cet exemple fonde l'égalité entre l'angle d'incidence et de réflexion pour les rayons de lumière « puisque tous ces rayons n'étant autre chose, que les perpendiculaires aux tangentes sphériques communes qui réunissent les ondes particulières, on peut les substituer à la place des boules élastiques dont nous venons de parler »¹.

Pour Molières, Launay, Keranflech ou Bernoulli², la réflexion suit donc le modèle du choc de corps élastiques : les lois établies pour ceux-ci lors de collisions obliques sur des surfaces s'appliquent ainsi aux petits tourbillons³. L'« appui » susceptible de causer un rebond se trouve dans les pores des surfaces réfléchissantes contenant des tourbillons de pesanteur plus grande. Keranflech note que « la lumière est réfléchiée par l'élasticité de la matière éthérée, dont les petits tourbillons réagissent à la rencontre d'objets plus denses » et que la réflexion nécessite la présence « d'objets plus denses, c'est-à-dire plus grossiers, moins élastiques, moins propres à se mouvoir comme elle [la lumière], & propres par leur solidité à lui servir de point d'appui ». Pour ces « objets », il précise que « les petits tourbillons ralentis qui composent ces milieux denses, du moins ceux qui composent leurs surfaces, par leur grossièreté & leur pesanteur (car ils pèsent), servent en quelque manière de points d'appui pour la réflexion des autres »⁴. L'idée sous-jacente est alors, comme l'écrit Launay, l'usage de cette « loi du choc des corps à ressort, qu'un petit corps en allant choquer un plus grand en repos, recule en arrière »⁵. Ainsi, le rayon parvenant au niveau de « molécules élastiques [...] incomparablement plus denses » que celles de l'éther, « quoiqu'il ébranle fortement les particules du milieu où il va, il [ce rayon] se réfléchira toujours »⁶.

La réfraction

La démonstration de la loi de réfraction repose sur les différences des vitesses de propagation de l'onde lumineuse lesquelles dépendent de la « densité » des milieux. Xx représente la surface de séparation de deux milieux et AE le front d'onde incident (Fig. 28 et 29) ; en supposant la zone en dessous de Xx remplie d'une matière plus dense que celle au-dessus, les ondes s'y propagent moins rapidement d'après la définition de la densité selon Molières rapportée plus haut. Molières considère $\frac{Aa}{AI}$ dans le rapport donné des vitesses de la lumière et établit alors la constance du rapport du sinus de l'angle de réfraction à celui du sinus d'incidence. Lorsque la lumière passe de l'air dans le verre, $\frac{Aa}{AI} = \frac{3}{2}$; inversement, si un rayon passe du verre dans l'air, $\frac{Aa}{AI} = \frac{2}{3}$ (Fig. 29).

1 *Ibid.*, p. 268-270.

2 Bernoulli estime la démonstration de l'égalité entre l'angle d'incidence et de réflexion pour la lumière « fort facile & trop claire » pour devoir s'y arrêter, et observe que « les corps à ressort parfait, qui heurtent obliquement contre d'autres corps durs & immobiles » observent cette loi. Or, une fibre contient des corpuscules solides qui ne sont pas élastiques mais qui sont maintenus à l'équilibre par les tourbillons et « par conséquent dans un état comme si eux-mêmes avoient un ressort parfait » : quand la fibre commence ses vibrations vers la surface réfléchissante, « celui des corpuscules tremoussants, qui donne obliquement contre la surface, sera obligé de réfléchir par un angle égal à l'angle d'incidence », Bernoulli, *Recherches Physiques et Géométriques*, p. 43-44.

3 Lois établies notamment dans Molières [1739], Leçon XVII, Proposition XV, p. 299-302.

4 Keranflech, *L'Hypothèse des petits Tourbillons*, p. 75 et p. 80.

5 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 266.

6 Molières [1739], Leçon XX, Proposition VIII, p. 515. Notons que lors du choc d'un corps élastique sur un autre plus massif le mobile incident ne rebondit pas avec sa vitesse initiale mais avec une vitesse moindre, à moins que le corps au repos possède une masse infinie : en transposant cet exemple à la réflexion de la lumière, il faut donc supposer que le milieu plus dense présent dans les pores des corps possède une masse sans commune mesure (« incomparablement plus dense ») avec celle des tourbillons de l'éther, lesquels pour Molières, rappelons-le, ne pèsent pas.

Molières décrit un arc de cercle de centre A et de rayon AI (Fig. 29) : $1n1$ marque l'onde issue de A dans un autre milieu au bout d'un certain temps. Il mène de e la droite en tangente en n à $1n1$. En traçant Rb de R parallèle à Aa et perpendiculaire à ea , puis Ro parallèle à An , les proportions $\frac{Rb}{Aa} = \frac{eR}{eA}$ et $\frac{eR}{eA} = \frac{Ro}{AI}$ avec $An = AI$ conduisent à $\frac{Ro}{Rb} = \frac{An}{Aa}$ ¹. Ainsi, pendant la durée que l'onde issue de E de l'onde AE parvient en e , celle partant de A qui serait parvenue en a en l'absence de milieux différents atteint en réalité n , et celle issue de B au lieu de b arrive en o . Un tel raisonnement valant pour A, B, C, D, E , et en changeant de milieu le front d'onde AE devient ne , tangente sur laquelle les ondes produites par chaque point « se réunissent en même tems » ; la lumière ZZ passant entre A et B en tombant successivement sur AR parviendra en no , de même que la lumière comprise entre BC parvient en op etc. Molières trace alors la normale YAV à Xx , avec YAZ l'angle d'incidence et VAn celui de réfraction. En prenant $Ae = 1$, $\sin e\widehat{AE} = eE$ et $\sin \widehat{Aen} = An$. Or, $e\widehat{AE} = \widehat{YAZ}$ (car chacun d'eux additionné à \widehat{EAY} forme un angle droit) et $\widehat{Aen} = \widehat{VAN}$ (chacun d'eux additionnés à $n\widehat{Ae}$ forme un angle droit). Par ailleurs, $eE = Aa$ et, ainsi, le rapport du sinus de l'angle d'incidence à celui de réfraction, autrement dit, le rapport des vitesses dans chaque milieu est constant. La construction montre que le rayon s'éloigne de la normale en passant dans un milieu où il possède une plus grande vitesse, soit dans un milieu moins « dense » ; inversement lorsqu'il passe d'un milieu moins dense à un plus dense (*ibid.*, p. 510-516). Plus la densité du milieu en-dessous de Xx augmente, plus ne diminue ; une densité infiniment plus grande entraîne alors une réflexion.

La réflexion consiste à considérer un milieu avec des tourbillons « incomparablement plus denses » que dans celui où se propage la lumière incidente. La réfraction entre deux milieux suppose seulement une différence de densité de petits tourbillons. Le fondement mécanique de cette démonstration repose sur le choc de boules « à ressort » permettant de justifier une différence des vitesses de propagation en fonction de la densité des milieux : lors de ces collisions « si les masses vont en augmentant, leur vitesse va sans cesse en diminuant », l'accroissement de densité correspondant à une telle augmentation de masse². Launay donne aussi la même raison : « lorsque le mouvement se communique à une suite de boules à ressort A, B, C, D, E , &c. dont les masses augmentent toujours, la vitesse de ces boules va sans cesse en diminuant [...] si ces mêmes boules [...] alloient toujours en diminuant, la vitesse de ces boules alloit toujours en augmentant », ces deux cas illustrant alors le passage d'un milieu moins dense à plus dense et inversement³, car « dans les corps plus denses, la masse de ces petits tourbillons [ceux compris dans les pores des corps] est plus grande, comme il est naturel de le penser » (*ibid.*, p. 268). Launay note que

l'éther contenu dans les pores des corps les plus denses, & qui y fait l'office de *vehicule de la lumiere*, est moins élastique que celui renfermé dans les pores des corps moins denses [...] Or l'éther ne peut être moins élastique dans les corps plus denses que dans ceux qui le sont moins, sans que la lumiere se propage moins vite dans ceux-ci que dans ceux-là, & il n'en faut pas davantage, pour que les rayons passans d'un milieu plus dense, dans un autre dont la densité est moindre, s'approchent de la perpendiculaire, & réciproquement (*ibid.*, p. 279-280)⁴.

1 Molières [1739], Leçon XX, Proposition VIII, p. 509-510.

2 *Ibid.*, Proposition IX, p. 526. Cette proposition est établie pour les chocs élastiques impliquant des files de boules contiguës lorsque le corps incident heurte une file dont les boules vont en « grosseurs » (masses) croissantes. Voir Molières [1739], Leçon XVIII, Proposition III, p. 364-370.

3 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 293-294.

4 La dernière phrase semble contredire la première et il faudrait y intervertir « ceux-ci » et « ceux-là ». La vitesse de propagation est moindre dans les milieux moins « élastiques », autrement dit dans ceux où l'éther est plus dense/massique à savoir dans les corps qui contiennent le plus de matières solides, et le rayon se rapproche alors de la normale. C'est bel est bien la conception de Launay qui écrit par ailleurs que les rayons passant d'un milieu moins dense dans un autre plus dense « s'approchent de la perpendiculaire », *ibid.*, p. 272. Voir aussi p. 283-284.

Cette moindre vitesse dans les milieux plus dense posée, Launay donne alors un résumé de la démonstration géométrique de la loi de réfraction de Molières (*ibid.*, p. 280-281).

Keranflech conçoit qu'« une différence d'élasticité » entre deux milieux engendre une « inégalité de pressions par rapport aux rayons ; ce qui fait changer leur direction, & les pousse du côté le plus foible ». Le rayon se rapproche de la normale quand la lumière

passé d'un milieu moins dense, en un plus dense, c'est-à-dire, d'un milieu plus élastique, en un autre qui l'est moins ; d'un milieu vif, en un autre moins vif ; d'un milieu dont les tourbillons sont plus dégagés & plus purs, en un autre dont les tourbillons sont plus chargés & plus embarrassés de matières hétérogènes, & ont par conséquent moins de ressort. La même raison fait que la lumière se propage plus lentement dans ces derniers milieux, & qu'en sortant elle reprend sa vitesse¹.

Cette moindre « élasticité » s'avère synonyme de tourbillons plus « denses », massifs ; cela n'implique pas qu'ils ne soient pas parfaitement élastiques, mais que moins « vifs », ils transmettent la lumière moins rapidement.

Pour établir la loi de réfraction, J. (II) Bernoulli utilise la démonstration de son père qui déduit cette loi de considérations statiques². J. (I) Bernoulli considère un point mobile E (Fig. 30) sur la surface CD soumis à trois forces de directions AE , EB , et RE , la statique montrant que l'équilibre de E requiert que l'intensité de la force selon AE et celle selon EB soient dans le rapport $\frac{\sin \overline{SEB}}{\sin \overline{AER}}$. La première force correspond à l'« effort » du rayon incident pour pénétrer le milieu, la deuxième « est l'opposition ou la résistance plus ou moins grande, selon la nature du second milieu, que doit faire le rayon rompu », la dernière simplement celle maintenant le corps E sur une même surface³. J. (II) Bernoulli montre dans son système d'où proviennent ces deux premières forces et où doit se trouver le point d'appui.

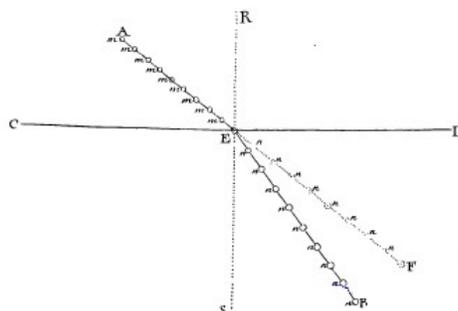


Fig. 30 : J. (II) Bernoulli, *Recherches Physiques et Géométriques* (1738), fig. II

Il considère la « structure intérieure » et les « pores » des corps plus ou moins étroits « selon qu'ils [les corps] sont d'une consistance plus ou moins dense, plus ou moins compacte » ; la « force » des petits tourbillons suit alors la même évolution que la densité des corps et « ils se trouvent [...] réduits ou resserrés à un moindre volume, par exemple dans le verre que dans l'eau, à un moindre aussi dans l'eau que dans l'air, & à un moindre dans celui-ci que dans le milieu de la matière éthérée » et leur force centrifuge – « avec la vitesse une fois acquise », autrement dit en la considérant égale dans chaque cas – sera plus grande dans les pores les plus étroits et, par conséquent, le milieu sera plus « élastique ». J. (II) Bernoulli suppose que l'air au-dessus de CD (Fig. 30) et du verre en-dessous, puis une fibre lumineuse AEB composé des corpuscules m et n . La fibre ne peut pas suivre la direction AEF en passant

1 Keranflech, *L'Hypothèse des petits Tourbillons*, p. 76.

2 J. (I) Bernoulli, *Disquisitio Catoptrico-Dioptrica exhibens Reflexionis & Retractionis naturam, nova & genuina ratione ex æquilibrii fundamento deductam & stabilitam*, *Acta Eruditorum*, jan. 1701, Lipsiæ, J. Grossii, J. T. Fristschium, p. 19-26.

3 Bernoulli, *Recherches Physiques et Géométriques*, p. 44-45.

d'un milieu dans un autre car l'éther entre les corps n possédant « une plus grande force élastique » que celle entre les particules m , et ces forces étant de même direction selon AEF le corpuscule E à l'interface est constamment sollicité pour migrer vers $C - E$ restant sur la ligne CD – par une force plus grande : aucune fibre du type AEF n'est donc possible. Mais « la Nature [...] a pourvû » à cette conservation d'une fibre en faisant prendre à EF la direction EB de telle sorte que E ne subisse pas plus de pression vers C que vers D . Or, d'après la démonstration de J. (I) Bernoulli, le repos de E s'obtient lorsque $\frac{F_{AER}}{F_{SEB}} = \frac{\sin \overline{SEB}}{\sin \overline{AER}}$ avec F_{AER} et F_{SEB} « les forces élastiques de l'éther » dans les milieux AER et SEB lesquelles s'avèrent constantes car spécifiques à ces milieux, d'où la loi de réfraction. Parce que dans un milieu plus dense que dans un autre moins dense l'éther possède un « ressort plus vif », il s'ensuit « une remarque fort curieuse & paradoxale » à savoir que la lumière s'y propage plus rapidement et le rayon se rapproche alors de la normale à la séparation des deux milieux ; « la lumière passe plus vite par le verre que par l'eau, & plus vite par l'eau que par l'air, mais [...] elle court moins vite par l'éther pur », Bernoulli évoquant alors Newton dont l'opinion sur cette question s'avère identique à sa théorie¹.

Tout en concevant donc l'éther sous la forme de petits tourbillons, J. (II) Bernoulli se distingue de savants tels que Molières, Launay et Keranflech, puisqu'il considère les tourbillons dans un corps plus dense plus « resserrés » et possédant ainsi davantage de force centrifuge, soit un « ressort plus vif » justifiant une plus prompte vitesse de propagation de la lumière.

Inflexion (diffraction)

Le traitement de l'« inflexion » ou diffraction chez Molières est tout d'abord l'occasion de réfuter les explications du phénomène par l'usage de forces d'attraction en dénonçant une « licence » prise par Newton à l'égard de sa formule du « Scholie général » des *Principia* « je n'imagine point d'hypothèses ». Ainsi, Newton déduit des observations la loi d'attraction et que « les forces d'attraction dont ils étoient doués [les astres Terre-Lune] étoient indépendantes de l'impulsion, & qu'elles étoient dans le même rapport des carrés des distances réciproques » ; les « Cartésiens » lui accordent les « principes d'expérience » mais non l'indépendance de cette force à l'impulsion, force « que M. Newton a rendu générale ; en affirmant sans aucune autre preuve particulière, & seulement en conséquence de sa maxime : que toutes les moindres parties de la Terre s'attiroient aussi mutuellement ; & sur quoi il prétend qu'on n'est pas pour cela en droit de lui imputer d'avoir fait aucune hypothèse ». La « maxime » en question, tirée d'un extrait du « Scholie général » que cite Molières, stipule qu'« on ne fait point d'hypothèses lorsqu'on déduit des phénomènes certaines propositions que l'on rend ensuite générales par l'induction ». Molières répond pour sa part s'en tenir plus strictement que Newton à un « principe d'expérience » qu'il entend « généraliser, ou étendre par induction » pour expliquer la diffraction². Ce « principe » « reconnu de tous les Philosophes » consiste en ce que la Terre possède une atmosphère diminuant en densité à mesure de l'éloignement de sa surface, ce qui « selon la maxime de M. Newton » et « sans crainte que les Neutoniens puissent [...] imputer une hypothèse » conduit à

-
- 1 *Ibid.*, p. 44-50. Bernoulli estime « fort probable » que les fibres d'une même suite « bien qu'en différents milieux, sont synchrones entr'elles », autrement dit qu'elles présentent la même fréquence. Puisque la vitesse de propagation dans différents milieux diffère, « il n'y a qu'à dire, que les fibres lumineuses qui se forment, par exemple dans le verre, quand le rayon s'y plonge, venant de l'air, s'allongent [...] afin que les vibrations des fibres, tant dans l'air que dans le verre, se fassent conjointement & en égale nombre en tems égaux ».
 - 2 Molières [1739], Leçon XX, Proposition IX, p. 520-523. Voir Newton, *Principes*, TMC, Scholie général, p. 179.

conclure immédiatement par induction [...] que toutes les parties de la Terre ont aussi une Atmosphere qui va en diminuant à mesure qu'elle s'éloigne de la superficie de chacune de ces parties¹.

Ainsi, autour de corps opaques ou transparents règne « de petites Atmospheres formées de petits tourbillons qui ont un globule dur à leurs centres, & dont la densité va en diminuant en s'éloignant du corps » (*ibid.*, p. 519). Une fois ceci posé,

le rayon de lumiere *ef* [Fig. 31] venant à rencontrer en *f* à quelque distance de la superficie du verre une atmosphere qui va en augmentant en densité à mesure qu'on s'approche du verre, doit se fléchir peu à peu, se courber insensiblement, comme il le fait en effet, avant que d'entrer dans le verre ; puisqu'il passe sans cesse d'un milieu moins dense dans un autre plus dense. Et [...] au sortir du verre, le même rayon rencontrant en *g* l'Atmosphere [...] qui régné sur toute la superficie du verre, & qui va en diminuant en densité à mesure qu'on s'éloigne du verre, doit se fléchir peu à peu, se courber insensiblement en s'écartant de plus en plus de la perpendiculaire, comme il le fait en effet en *g* ; puisqu'il passe d'un milieu plus dense, dans un autre moins dense (*ibid.*, p. 525).

Molières précise alors que ces « inflexions » que « M. Newton a observé » s'expliquent « selon les loix pures & simples des Mécaniques, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à aucuns nouveaux principes, d'attraction, de répulsion, d'infléxion, indépendans de l'impulsion » (*ibid.*, p. 519, p. 525). La variation en densités entraîne une différence de vitesse de propagation et donc une réfraction. Le caractère continu de ce changement de densité explique la diminution progressive de la vitesse au niveau de *f* et une déviation sous la forme de courbe. Au sein de la lame de verre, la densité demeurant constante, la vitesse reste alors identique et la trajectoire suit une droite. A la sortie au niveau de *g*, la densité diminue et la vitesse de propagation augmente (*ibid.*, p. 525-527)². En passant du verre dans l'air et à nouveau dans le verre, le rayon « perdra à chaque instant le même degré de vitesse qu'il avoit acquis »³. On trouve de semblables explications chez Launay et Keranflech⁴.

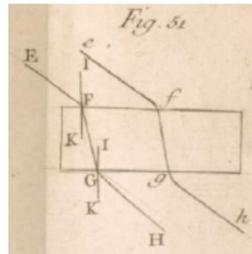


Fig. 31: Molières [1739], fig. 51

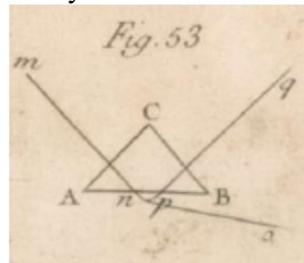


Fig. 32 : Molières [1739], fig. 53

L'évocation de ces variations continues apparaît aussi lorsque Molières explique l'« inflexion » *np* (Fig. 32) lorsque le rayon *mn* rentre dans un prisme. Molières se place dans la situation où le rayon incident à une telle inclinaison qu'en *p* il tende à suivre une trajectoire parallèle à la base du prisme *AB*, ce rayon perdant alors toute sa vitesse selon une composante normale à *AB* pour ne conserver qu'une autre selon une composante parallèle.

1 Molières [1739], Leçon XX, Proposition IX, p. 523-524.
2 La variation des vitesses se conçoit à nouveau selon le modèle de chocs élastiques, la vitesse des « globules » d'un rayon diminuant au niveau de verre à cause de l'augmentation en densité de l'atmosphère, autrement dit de la masse plus grande des tourbillons qu'ils rencontrent. L'« égale densité » de ces derniers dans la matière conduit à une vitesse constante ; au sortir du corps, la « vitesses des globules doit aller en augmentant », la « densité des globules » de l'atmosphère diminuant, *ibid.*, p. 526-527. Pour ces changements de vitesse en fonction des masses des corps choquant, Molières renvoie aux collisions élastiques impliquant des files de corps dans Molières [1739], Leçon XVIII, Proposition III, p. 341-370.
3 Molières [1739], Leçon XX, Proposition IX, p. 528-529.
4 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 288-289. Keranflech, *L'Hypothèse des petits Tourbillons*, p. 78 écrit que « l'infléxion que la lumière souffre aux approches de la surface d'un corps, (ce qui, dans le cas de la réflexion, change l'angle rectiligne en portion de courbe) [...] est causée par l'atmosphère de ce même corps, dont les couches sont d'autant plus denses qu'elles sont plus voisines de la masse ».

Molières suppose, par ailleurs, que le rayon ne puisse pas « sortir de sa petite atmosphère » vers p et alors « à l'issue du dernier effort perpendiculaire infiniment petit qu'il fera contre la couche élastique de la petite atmosphère à laquelle il sera parvenu, & qu'il ne pourra pénétrer, il s'y réfléchira faisant un angle infiniment petit avec la tangente de la courbe en ce point qui sera parallèle à la surface du verre ». Le rayon, en remontant vers le verre, rencontre des tourbillons de densité croissante et perd alors de sa vitesse, avant de pénétrer dans le prisme, de s'y mouvoir à une vitesse constante – à cause de la constance de la densité des tourbillons dans ce solide – et d'être à nouveau réfracté sur la face CB^1 . Le rayon allant de p vers q suit une trajectoire symétrique à celle entre m et p , et repasse par les mêmes vitesses. Tout comme pour la réfraction où les différences continues de densités font décrire une courbe, « les diverses résistances [les densités dues aux masses que portent les petite tourbillons] que le Rayon mn aura rencontré dans cette atmosphère le détourneront peu à peu en lui faisant décrire une courbe np hors du verre, semblable à celle qu'une Bombe décrit dans l'air »². Il faut ici supposer que les « résistances » successives tendent à annuler la composante normale de la vitesse de propagation du rayon en laissant intacte celle parallèle à AB , tout comme lors d'un choc oblique sur une paroi, ou encore, en suivant ici le modèle balistique proposé par Molières, tout comme une pierre lancée obliquement en l'air avec la pesanteur qui jouerait le rôle de ces « résistances ». Au niveau de p , le rayon ne poursuit pas une trajectoire rasante à AB et il faut donc envisager l'existence d'une action perpendiculaire dirigée vers le prisme ; Molières écrit que le « dernier effort perpendiculaire » se « réfléchira » ce qui, d'après son explication de la réflexion de la lumière, signifie que ce « dernier effort » rencontre un éther dense – celui de l'atmosphère – qui le fait rebondir.

Avec les mêmes principes que Molières, Launay écrit que lorsque le rayon incident mn se retrouve en p avant de sortir de l'atmosphère environnant le prisme, « alors ce rayon rasant la superficie [AB] de l'atmosphère, ou la tangente du sommet de la courbe [...] ne pourra passer dans l'air, dont la densité est un peu moindre que celle de l'atmosphère du verre, mais il se rompra en s'approchant un peu de la face inférieure du prisme » et donc se réfléchira au niveau de p . *A contrario*, si l'angle d'incidence est tel que le rayon sorte de l'atmosphère du verre avant d'avoir atteint le sommet de la courbe, alors il entre dans l'air et s'y propage³. Ce sommet p est le lieu où la vitesse normale s'annule et, en fonction de sa localisation ou non dans l'atmosphère, se produit une réflexion ou non ; si le rayon possède encore une vitesse normale en sortant de cette atmosphère alors il poursuit sa route dans l'air, autrement il se réfléchit. L'incidence de l'angle sur AB – et donc celle sur AC –, détermine la possibilité d'une réflexion au niveau de AB et il semble que Molières et Launay associent ce fait à la vitesse normale à AB dont l'intensité peut être telle en fonction de l'incidence du rayon que cette composante s'annule au niveau de l'atmosphère ou non⁴.

L'explication de l'« inflexion » ou la diffraction d'un rayon de la lumière au niveau d'un cheveu résulte du même procédé à ceci près « qu'il y ait autour de ce cheveu une atmosphère dont les particules allant de la superficie au centre diminuent en densité, tout au contraire des corps transparents » ; ceci justifie que (Fig. 33) « ab [...] passant sans cesse, d'un milieu plus

1 Molières [1739], Leçon XX, Proposition IX, p. 528.

2 *Ibid.*, p. 529.

3 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 289-290.

4 Outre l'« inflexion », ces explications tendent à rendre compte mécaniquement de l'angle limite de réfraction λ lorsque la lumière passe d'un milieu plus réfringent à un autre moins réfringent, défini par la relation $\sin \lambda = \frac{n_2}{n_1}$ avec n_1 et n_2 les indices de réfraction respectivement des milieux les plus et les moins réfringents. Si l'angle d'incidence d'un rayon dépasse λ , le rayon se réfléchit au lieu de subir une réfraction. Plus l'angle s'approche de λ , plus la composante normale au plan AB (Fig. 15) est petite. Il faut donc supposer qu'au-delà de λ la composante normale du rayon soit suffisamment faible au point de ne plus pouvoir s'opposer aux « diverses résistances » dues à la densité du milieu et, ainsi, ne plus permettre une réfraction.

dense dans un milieu moins dense, se détournera en s'écartant de la perpendiculaire »¹. Molières ne donne pas les raisons d'un tel gradient de densité mais Launay qui suit le même raisonnement ajoute que

la raison pour laquelle l'atmosphère du cheveu devient plus dense à mesure qu'on s'éloigne, est, ce me semble, que le cheveu est gras, & que les particules qui en sortent, ne pouvant qu'avec peine se mêler avec l'air, dont elles pénètrent difficilement les pores, se condensent à mesure qu'elles s'éloignent du cheveu, & repoussent, autant qu'elles le peuvent, les molécules de l'air qui les empêche de se dissiper².

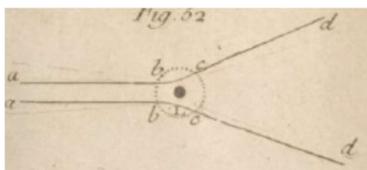


Fig. 33 : Molières [1739], fig. 52

Launay évoque alors la séparation des couleurs due à l'atmosphère entourant le cheveu notant, sans plus de précision, que « les rayons *rouges* souffrant dans le même milieu une refraction moindre que les *jaunes*, & les jaunes une refraction moindre que les *verts*, &c. tous ces rayons se sépareront tant soit peu les uns des autres, conformément à l'observation de M. *Newton* »³. L'examen de la diffraction ne va pas plus loin chez Molières et Launay ; Mairan pousse davantage les analyses, comme nous le constaterons dans la dernière partie de ce chapitre dévolu aux atmosphères, la répartition des couleurs des différentes franges observées lui permettant de bâtir un modèle d'atmosphère.

DISPERSION DE LA LUMIERE BLANCHE

Après avoir rapporté des expériences de Newton concernant la décomposition de la lumière blanche⁴, Molières propose une explication des différentes couleurs du spectre et de leur séparation. Les rayons produisant les couleurs ne peuvent différer entre eux « qu'en ce que les ondulations [...] d'où naissent ces rayons sont plus ou moins fortes, & leurs ondes plus ou moins fréquentes » et ils peuvent « se traverser sans se nuire [...] ni se brouiller » à l'instar des « ondulations » produites par différentes cordes d'un instrument dans l'air qui « s'y propagent & s'y croisent » sans se détruire⁵. Cette « hétérogénéité » de la lumière blanche vient des plus ou moins grandes « forces » et « raretés » (ou « distances ») des ondulations produites dans l'éther par la vibration des corps lumineux. Les petits tourbillons d'huile équilibrent ceux du premier élément (voir Partie II, Chapitre III) mais, si cet équilibre se rompt, ils s'agrandissent pour entrer en équilibre avec le second élément. Lors de cet agrandissement les vibrations des tourbillons d'huile sont, dans un premier instant, plus rapides que dans un suivant et, ainsi, « les vibrations que les tourbillons exciteront dans l'éther pourront être de differens degrés de promptitude » auxquels correspondent « les nuances des couleurs » :

le même petit tourbillon d'huile qui accompagné d'une infinité d'autres [...] produira d'abord dans ce milieu [l'éther] les vibrations propres à exciter en nous la couleur *violette*, venant aussi-tôt à s'agrandir un

1 Molières [1739], Leçon XX, Proposition IX, p. 530-531.

2 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 292-293.

3 *Ibid.*, p. 292.

4 Molières [1739], Leçon XX, Proposition X, p. 531-537. Il s'agit notamment de la « Troisième expérience » et de la « Neuvième Experience », la première associant couleurs à réfrangibilités, la suivante associant la réfrangibilité à la réflexibilité des rayons décomposés (le rayon le plus réfrangible est le plus réflexible). Voir Newton, *Traité d'optique*, deuxième et troisième propositions, p. 31-80.

5 Molières [1739], Leçon XX, Proposition X, p. 538-539.

peu plus, excitera en nous la couleur *pourpre*, puis continuant à s'agrandir encore, il sera capable d'y exciter la couleur *bleuë* [...] Si bien que tandis qu'un grand nombre de petits tourbillons d'huile qui, dans un premier instant auront acquis la grandeur suffisante pour exciter en nous la couleur *violette*, acquérant dans un second instant celle qui leur convient pour y exciter la couleur *pourpre*, un pareil nombre d'autres petits tourbillons d'huile commenceront dans ce second instant que d'acquérir la grandeur convenable pour exciter en nous la couleur *violette*. Et lorsque dans un troisième instant les premiers acquerront la grandeur convenable pour exciter en nous la couleur *bleuë*, & les seconds la couleur *pourpre*, un troisième nombre de tourbillons de l'huile n'acquerront dans ce troisième instant que la grandeur convenable à exciter en nous la première couleur [...] De sorte que [...] l'éther peut recevoir en même tems toutes les différentes vibrations propres à chaque couleur¹.

Molières critique alors Newton qui, « dans son Optique », suppose « autant de divers genres de petits corps subsistans, plus grands les uns que les autres, qu'il y a de différentes couleurs, & de différens degrez dans chacune de ces couleurs »² alors que la genèse et la propagation des ondes monochromatiques s'expliquent mécaniquement. Molières associe ici les couleurs aux grandeurs des tourbillons dont la taille augmente, autrement dit à leurs forces centrifuges qui vont en décroissant : cette augmentation rend les tourbillons moins « prompts » à transmettre des vibrations, cette « promptitude » renvoyant, comme chez Malebranche, à une fréquence d'oscillation.

Selon Molières, « les ondes [...] qui forment l'ondulation qui excite le rouge, sont plus fortes & plus rares, ou plus distantes les unes des autres que ne sont les ondes [...] qui forment les ondulations qui excitent le jaune, & ainsi de suite ; jusqu'à celle qui excite la couleur violette, dont les ondulations sont les plus fréquentes & les plus foibles »³. Les rayons perdent moins « de leur vitesse » lorsque les ondes sont « plus fortes » et, ainsi, « la refraction du rouge doit être moindre que celle du jaune, & celle-ci moindre que celle du vert » etc., ce qui explique qu'en traversant le prisme ces couleurs se séparent. Molières écrit aussi que les différentes réfrangibilités des couleurs résultent « de la fréquence plus ou moins grande des ondes », celle-là même qui « fait différer les sons en gravité »⁴.

Deux grandeurs permettent alors de caractériser des ondes, la « fréquence » (ou « rareté ») et la « force », ce dernier terme semblant recouvrir plusieurs sens. Tout d'abord, et le parallèle fait par Molières avec la balistique lors de son étude de l'inflexion le suggère, cette « force » peut renvoyer à une vitesse de propagation : le vocable s'apparenterait à l'usage du mot « force » par Molières lorsqu'il évoque une simple quantité de mouvement même si, étant donné le caractère purement ondulatoire de la propagation de la lumière, l'analogie s'avère peu probante⁵. « Force » signifie aussi l'intensité de la pression exercée par les tourbillons, autrement dit l'amplitude de l'onde : Launay écrit que « pour ce qui est des différens degrés de vivacité d'une même couleur [...] ils dépend[ent] du plus ou moins de force des vibrations, quoique d'ailleurs également prompts. Or les molécules d'huiles qui sont en état d'exciter dans l'éther des vibrations d'une égale promptitude, ne sont pas toutes au même degré de force ; il n'est donc pas surprenant qu'une même couleur soit susceptible de différens degrés de vivacité »⁶. Puis, la réfrangibilité dépendant de « la fréquence plus ou moins grande », et

1 Molières [1736], Leçon IX, Proposition I, p. 358-362.

2 *Ibid.* Newton, *Traité d'optique*, Question XIX, p. 525-531 et en particulier p. 528-529 : « Ainsi il ne faut, pour produire toutes les différentes Couleurs de la Lumière & tous ses différens degrez de refrangibilité, si ce n'est que les Rayons de Lumière soient des Corpuscules de différentes grosseurs ; que les plus petits de ces Corpuscules produisent le Violet, (la plus foible & la plus sombre de toutes les Couleurs) & soient le plus aisément détournés du droit chemin par les Surfaces refringentes ; & que les autres, à mesure qu'ils sont plus gros, produisent les Couleurs les plus fortes & les plus éclatantes, le Bleu, le Vert, le Jaune, & le Rouge, & qu'à proportion de leur grosseur, ils soient toujours plus difficilement détournés du droit chemin ».

3 Molières [1739], Leçon XX, Proposition X, p. 540.

4 *Ibid.*, p. 540-542.

5 Nous constaterons ci-dessous que J. (II) Bernoulli évoque la « force accélératrice » d'une « fibre » produite par les tourbillons.

6 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 306-307.

les ondes rouges correspondant aux « plus fortes » qui sont les plus « rares », la « force » est aussi associée à la grandeur de la fréquence (ou la période d'oscillation). Par ailleurs, même si Molières ou Launay distinguent l'intensité de la fréquence, il peut aussi exister une corrélation, bien que non explicitée, entre la « force » qui provoque une certaine amplitude et la période de vibration : les ondes de grandes amplitudes provoquées par de grandes forces sont dites les plus « fortes » et sont associées aux plus basses fréquences (pour Malebranche et Molières) ; Newton semble aussi relier la « grandeur » de vibrations aux degrés de réfrangibilité des rayons monochromatiques¹.

Ces différents sens de « force » et « fréquence » recouvrent alors ceux rencontrés chez Malebranche (voir Partie II, Chapitre I). En faisant dépendre les couleurs de la fréquence, Le Corgne se réfère à l'*Eclaircissement XVI* de *De la recherche de la vérité* et, à la suite de Malebranche, il remarque que l'« ébranlement [de l'organe de la vision] ne peut être que plus fort, & plus foible, ou plus prompt & plus lent », et que la diversité des couleurs ne dépend pas de cette force d'ébranlement – celle-ci qui fait qu'« une couleur paroît plus ou moins vive » – mais « du plus ou du moins de promptitude des vibrations »². Comme Molières, Launay associe les couleurs à l'agrandissement des tourbillons d'huile : « la force & la promptitude de ces vibrations [des tourbillons d'huile qui s'agrandissent] diminuë toujours à proportion de l'augmentation du volume des molécules d'huiles [...] ces principes suffisent pour rendre raison de la diversité des couleurs » (*ibid.*, p. 303-306). Mais Launay se démarque de Molières qui suppose que la couleur violette apparaît en premier lors de l'agrandissement des tourbillons d'huile et qu'à cette couleur correspond une onde aux vibrations plus fréquentes mais de moindre « force » :

il [Molières] prétend que plus les molécules d'huile augmentent plus les vibrations sont fortes, quoiqu'il avoue que leur promptitude diminuë. Pour moi au contraire, je pense que ces vibrations n'étant excitées que par la force centrifuge des molécules d'huile [...] non-seulement leur promptitude mais aussi leur force doit diminuer à mesure que les molécules d'huile deviennent plus grandes, & c'est ce qui fait qu'au lieu que M. de Molières veut que les vibrations qui produisent le rouge, soient les moins promptes, & les plus fortes, ou qu'elles soient produites par une molécule d'huile arrivée au dernier degré de son accroissement ; je crois au contraire que les rayons rouges consistent dans les vibrations les plus promptes & les plus fortes, qui sont, à mon avis, celles qu'une molécule d'huile produit, quand elle commence à agir sur les tourbillons du second élément, après quoi elle produit le *jaune*, le *verd*, &c. (*ibid.*, p. 307-308).

S'ensuit alors l'explication des différents degrés de réfrangibilité : ils proviennent de la « force » des ondes monochromatiques, celles « dont la force est plus grande ne perdront pas tant de leur vitesse que les autres », subissant ainsi une « réfraction moindre » que les rayons « plus foibles [...] obligés de se détourner davantage » (*ibid.*, p. 309-310). En somme, Launay suit Malebranche et Molières en supposant l'onde rouge la plus « forte » parce que la moins déviée, entre mais il estime, contrairement à ces deux savants, que la promptitude (fréquence) et la « force » suivent la même évolution – elles augmentent ou diminuent conjointement – en considérant les forces centrifuges de petits tourbillons.

Keranflech fait correspondre des « ordres » de petits tourbillons à chaque couleur, un ordre possédant sa vibration propre. Les différentes réfrangibilités proviennent des différences d'élasticité de ces tourbillons, Keranflech estime que « l'élasticité des plus petits ordres est respectivement plus diminuée que celle des grands », les matières hétérogènes à ces tourbillons des plus petits ordres étant plus grossières qu'eux « ceux-ci en sont par conséquent

1 Voir sur ce point Darrigol, « The Analogy between Light and Sound in the History of Optics from ancient Greek to Isaac Newton. Part 2 », *Centaurus*, Vol. 52, Issue 3, 2010, p. 234 et p. 240 ; Blay, « Une clarification dans le domaine de l'optique physique : bigness et promptitude », *Revue d'histoire des sciences*, Vol. 33, n° 3, 1980, p. 215-224. Voir aussi Abdelhamid I. Sabra, « Newton and the « Bigness » of vibrations », *Isis*, 1963, p. 267-268.

2 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 299-303.

plus embarrassés ». Ainsi, dans un milieu dense, les plus petits ordres perdent davantage de force et puisque les réfractions résultent des différences de densité des milieux, aux rayons violets subissant le plus de réfraction correspondent les ordres les plus petits¹.

Pour sa part, J. (II) Bernoulli donne un « précis de ce qui fait le système de M. Newton sur la nature des couleurs » et écrit supposer comme Newton que « les particules dures de grandeur & de force différente », la « force » étant ici synonyme de « vitesse », expliquent les différentes couleurs ; il se démarque cependant de Newton concernant la théorie de l'émission, les particules de Bernoulli composent des fibres lumineuses au sein des petits tourbillons². Le rôle de ces derniers dans la formation des couleurs est indirect. De par leurs masses (« grandeurs ») différentes, les corpuscules vibrent – par l'action des tourbillons – différemment, et des rayons – composés de fibres lumineuses isochrones comprenant les corpuscules – ont ainsi leurs couleurs propres à cause de ces masses : ces couleurs sont associées aux masses lesquelles participent à l'expression générale de la fréquence d'oscillation. En effet, Bernoulli obtient une relation du type « $\frac{p\sqrt{D \times A}}{AG}$ = au nombre de vibrations longitudinales de la fibre sonore faites à chaque fois que le Pendule donné D acheve une de ses oscillations » (*ibid.*, p. 36), relation identique pour une fibre lumineuse, avec ici $p = \pi$, D la longueur d'un pendule donné, AG la longueur d'une fibre, A la force constante de compression de l'éther (*ibid.*, p. 36 et p. 40). Bernoulli dérive cette formule de $\frac{p\sqrt{D \times P}}{\sqrt{AB \times L}}$ donnant la fréquence d'une corde vibrante de longueur AB tendue par un poids P , avec L « sa quantité de matière », D la longueur d'un pendule ; Bernoulli substitue dans cette dernière relation AB par AG , et $\frac{P}{L}$ par $\frac{A}{AG}$ pour obtenir la première relation $\frac{p\sqrt{D \times A}}{\sqrt{AG \times AG}}$ où AG mesure la longueur de la fibre mais est aussi une grandeur indiquant la « quantité de matière » puisque associée à des corpuscules qui définissent une fibre : en notant σ la masse par unité de longueur de la fibre, $AG \times \sigma$ mesure la « quantité de matière » et $\frac{1}{AG} \sqrt{\frac{D \times A}{\sigma}}$ définit la fréquence³. Bernoulli en conclut que les fibres qui peuvent « acquérir le plus de force accélératrice », autrement dit celles qui « acquièrent de très-prompts vibrations », sont celles pour lesquelles les corpuscules sont les plus petits : $\frac{p\sqrt{D \times P}}{\sqrt{AB \times L}}$ montre que pour deux cordes vibrantes de même longueur et soumises à une même force P , dans une même durée les nombres de vibrations sont dans le rapport inverse des racines des « quantités de matière » ou « grosseurs » des cordes, or les fibres lumineuses observent le même type de loi⁴. La grandeur homogène au produit de $\frac{1}{AG} \sqrt{\frac{D \times A}{\sigma}}$ (qui est égal nombre de vibrations) par AG (la longueur

1 Keranflech, *L'Hypothèse des petits Tourbillons*, p. 78-79. Keranflech n'explique pas le mécanisme de réfraction, mais interprète l'inflexion par une densité d'autant plus grande des tourbillons d'éther que les couches sont plus proches de la masse du corps au voisinage duquel passe la lumière (voir ci-dessus). Il évoque Malebranche et Molières pour la réfraction et tout laisse à penser qu'il puisse s'inspirer des explications de ces auteurs et qu'il associe donc la réfraction à une différence de densités entre deux milieux, celui contenant le plus de matière devant se composer de tourbillons les plus denses.

2 Bernoulli, *Recherches Physiques et Géométriques*, p. 55.

3 Bernoulli écrit tirer la relation $\frac{p\sqrt{D \times P}}{\sqrt{AB \times L}}$ de J. (I) Bernoulli, *Meditationes de chordis vibrantibus, cum pondusculis æquali intervallo a se invicem difsitis*, *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, t. III, année 1728, Petropoli, Typis Academiae, 1732, p. 13-28. Cette relation correspond à une expression du type $f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\sigma}}$ donnant la fréquence f d'une corde vibrante, en posant $\sigma l^2 = AB \times L$ et $P = F$, avec l la longueur de la corde, F la force exercée et σ la masse par unité de longueur.

4 Bernoulli, *Recherches Physiques et Géométriques*, p. 57-58.

d'une fibre) est proportionnelle à la vitesse ou la « force accélératrice » acquise par l'onde¹. Bernoulli associe à la couleur rouge (la moins réfractée) les plus petits corpuscules qui correspondent à ceux pour lesquels le « nombre de vibrations » est plus important et ceux qui acquièrent la plus grande vitesse². Cette quantification permet de mieux appréhender le lien entre force et déviation qui demeurerait qualitatif dans les raisonnements de Malebranche, Molières ou Launay : à la plus grande vitesse, et donc force, correspond la plus grande fréquence ; puisque la plus grande vitesse entraîne une moindre réfraction, au rouge est associé la fréquence la plus importante.

Molières écrit que la perception d'une couleur provient de l'ébranlement de « fibres » au niveau de « l'organe de la vue » susceptibles de recevoir seulement cette radiation³. Une solution paraît alors rouge si elle contient dans sa « substance [ses pores] ou sur [sa] superficie » des « particules [...] de telle construction que les ondes de lumière qui produisent le rouge, peuvent seules ébranler leurs fibres, & leur faire produire des vibrations isochrones à celles que produisent les particules du corps lumineux qui font le rouge » ; les « particules ainsi agitées, renvoyant à nos yeux des ondes pareilles à celles qui les ont agitées, nous verrons cette liqueur rouge »⁴. La couleur des corps solides s'explique de la même manière, et les « particules » dont les « fibres » sont cette fois-ci mises en mouvement sont situées dans l'atmosphère entourant le corps⁵. Dans ce type d'interprétation, il faut, comme le remarque Launay, que « les molécules de lumière répandues sur la surface du corps réfléchissant, aient un rapport particulier, une espèce de sympathie avec les rayons réfléchis », à l'instar des vibrations d'une corde qui se transmettent à une autre à l'unisson ; un corps paraît rouge car « à l'occasion du choc » la lumière n'ébranle que les molécules capables de transmettre cette couleur⁶.

CONCLUSION

Dans ces différentes théories, les petits tourbillons fondent le caractère ondulatoire de la propagation de la lumière, définissent deux grandeurs caractéristiques – la « force » et la fréquence – de l'onde, interviennent *via* leurs forces centrifuges dans l'explication des phénomènes optiques (réflexion, réfraction, inflexion) ; autant d'aspects figurant dans chez Malebranche mais qui ne doivent pas pour autant masquer des modifications voire des divergences avec l'*Eclaircissement XVI*, ni le fait que ces théories ne forment pas un ensemble homogène. Par ailleurs, les corpuscules « durs » et les modèles mécaniques utilisés par Huygens sont adaptés aux petits tourbillons. Malebranche et Huygens sont alors les

1 Rappelons que la vitesse d'une onde est égale au produit d'une fréquence par une longueur d'onde. Cette expression

$\sqrt{\frac{D \times A}{\sigma}}$ figure aussi chez Newton, *Principes*, TMC, II, Prop. XLVIII, p. 406-407.

2 Bernoulli, *Recherches Physiques et Géométriques*, p. 56-59.

3 Molières [1739], Leçon XX, Proposition X, p. 542-544.

4 *Ibid.*, Proposition XI, p. 545-546. Une solution paraîtra verte « parce qu'elle contiendra pêle-mêle en un nombre à peu près égal, des molécules qui pourront être mises en vibration par les rayons de lumière qui excitent le jaune & le bleu, &c. » Une solution paraissant d'une couleur donnée ne contient pas nécessairement que les particules correspondantes à cette radiation, il suffit qu'elle en possède plus que celles requises aux autres couleurs. *Ibid.*, p. 546-547.

5 *Ibid.*, p. 548. Si un corps rouge contient peu de « particules capables d'être mises en vibration par les rayons rouges », mais n'en contient que très peu ou aucune capables d'être excitées par d'autres rayons d'autres couleurs, alors ce corps dur ou fluide paraîtra rouge et transparent et la lumière se transmettra à travers ses pores ; si les « particules colorifiques » susceptibles d'être ébranlées par le rouge sont en très grand nombre, « alors la trop grande quantité des vibrations particulières de ces petits corps pourra interrompre [autrement dit, ne pas transmettre la lumière], & sera capable de déranger l'action directe de la lumière [son passage], & le corps deviendra opaque ». *Ibid.*, p. 548-550. Une feuille d'or mince éclairée d'un côté paraîtra couleur or (par l'association de la réflexion de rayons rouges et jaunes) et laissera passer aussi une partie du jaune, du bleu et du vert, rayons qui ne subiront aucune « altération sensible » ; en traversant la feuille ces rayons rencontreront sur sa face opposée une atmosphère comprenant des tourbillons susceptibles de recevoir leurs vibrations et dont la composition donnera une teinte verte, *ibid.*, p. 550-551.

6 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 311 et p. 313.

sources essentielles notamment pour proposer une alternative à la théorie de l'émission de Newton.

Malebranche explique la réfraction par une différence de pressions essentiellement due au nombre des petits tourbillons ; les corps plus denses de matière – le verre, l'eau etc. – contiennent moins de tourbillons. Manifestement, il existe chez Malebranche une différence de pression de l'éther entre le milieu incident et celui où le rayon se réfracte (Partie II, Chapitre I). Molières, Launay et Keranflech fondent leurs analyses en s'attachant à la nature physique d'atmosphères environnant les corps. Ainsi, les corps les plus denses sont ceux qui renferment le plus de tourbillons chargés de matières hétérogènes à l'éther, ce qui rend ces tourbillons plus denses, pesants, et par-là même moins élastiques : « les tourbillons sont plus chargés & plus embarrassés de matières hétérogènes, & ont par conséquent moins de ressort » écrit Keranflech. La lumière se propage alors moins vite dans de tels milieux, Malebranche attribuant de son côté une vitesse infinie à la lumière. Ce « moins de ressort » ne signifie pas que les tourbillons ne soient pas parfaitement élastiques mais que leur plus grande masse implique, en vertu des règles de collisions élastiques, une transmission moins prompte de la lumière.

J. (II) Bernoulli ne recourt pas explicitement à ces atmosphères et estime qu'un corps plus dense qu'un autre contient des tourbillons plus serrés donc plus « vifs » : la lumière s'y propage alors plus rapidement. Pour sa part, Mairan, qui considère l'éther sous la forme de petits tourbillons¹, évoque la résistance de différents milieux pour expliquer la réfraction. Il considère la résistance dans un milieu plus dense moindre que dans un autre moins dense, et ainsi la lumière s'y propage plus rapidement. Cette lumière se meut dans l'éther « qui peut résister plus ou moins à leur mouvement [aux globules composants les rayons lumineux], & être dit à leur égard plus ou moins dense, selon sa densité particulière, indépendamment de la densité totale de la matière dont il remplit les interstices »². La moindre densité de l'éther entraîne une moindre résistance, mais Mairan estime aussi difficile d'établir un lien précis entre la densité des corps et celle de l'éther qu'ils contiennent³. Il n'explicite pas véritablement la cause de cette résistance. Malgré tout, bien qu'il développe sa théorie de la réfraction sous « l'hypothèse de l'émission actuelle des globes lumineux », il remarque aussi qu'elle s'adapte en supposant la lumière suivant les « petits tourbillons du P. *Malebranche* », lesquels font efforts contre des « files » de tourbillons donnant lieu à des « *vibrations de pression* » : dans ce cas, même si le savant n'est pas explicite sur ce point, la résistance pourrait être celle causée par des tourbillons chargés d'une matière hétérogène à l'éther à l'instar des conceptions de Molières ou de Launay⁴ ; nous verrons à la fin de ce chapitre que Mairan utilise des atmosphères chargées de matières hétérogènes à l'éther. La densité de la matière affecte donc différemment celle des tourbillons selon ces savants.

En recourant à des corpuscules durs flottants parmi l'éther, Bernoulli s'éloigne de conceptions n'attribuant qu'au seul éther un rôle dans la propagation de la lumière. Il semble redevable à Newton ; plus généralement, pour Molières, Launay ou Keranflech, les résultats consignés dans le *Traité d'optique* constituent la base expérimentale qu'il s'agit d'interpréter mécaniquement⁵. Les critiques à l'encontre de Newton portent sur la théorie de l'émission et

1 Voir Partie II, Chapitre II.

2 Mairan, *Suite des recherches physico-mathématiques*, p. 373.

3 Il écrit notamment que « la quantité, & la force du fluide *réfringent* » dans un corps plus dense (« plus solide » et « plus dur ») peuvent « l'emporter » sur celles d'un corps moins dense (« plus léger » et « plus rare »). Mais il observe aussi que « la force de ce fluide [l'éther] pourroit encore se trouver plus grande ou plus petite, & agir plus ou moins sur la lumière, indépendamment de sa quantité, ou de la grandeur des pores du milieu », *ibid.*, p. 374.

4 *Ibid.*, p. 366.

5 Molières dresse une liste des « propriétés principales du son & de la lumière » et un grand nombre d'autres « plus détaillées » que « M. Newton a découvertes avec tant de sagacité & de profondeur, en quoi il a fait paroître la supériorité de son génie, autant dans la Physique expérimentale que dans les Mathématiques » tout en ajoutant que de telles découvertes « ne renferme néanmoins rien de contraire au Système du Plein : rien qui puisse ne pas être une suite du

les explications de phénomènes lumineux par l'action de forces à distances. Bien que Newton évoque un éther dans les *Questions* de son *Traité d'optique*, Molières, Launay ou Keranflech passent sous silence cet aspect¹.

La modification de trajectoire d'un rayon lumineux se conçoit *via* les collisions parfaitement élastiques et leurs règles impliquant des chocs avec des successions contiguës de corps. Les phénomènes optiques respectent strictement de telles règles ou s'agit-il seulement d'une analogie ? Manifestement, Molières ou Launay reconduisent des exemples de chocs énoncés par Huygens dans son *Traité de la lumière*. Ils font reposer le parallèle éther-boules élastiques sur l'idée sous-jacente « que les ondes doivent se propager de la même façon que les pressions se communiquent », Launay entendant ici par « pressions » celles à l'œuvre lors de percussions. Huygens suppose un éther constitué par des corps « durs » à « ressorts » contigus², autrement dit parfaitement élastiques, tandis que ces autres savants envisagent les tourbillons de l'éther sans masse. Selon Molières et Launay la réflexion résulte d'un éther chargé de corpuscules situés dans les pores des corps et « incomparablement » plus pesants que ceux hors de ce corps. Mais selon cette explication les réfractions seraient difficilement pensables puisque le fluide répandu dans les corps y est toujours « incomparablement » plus dense que l'autre étant donné que ce dernier ne pèse pas. Les règles du choc ne modélisent donc pas véritablement le phénomène mais suggèrent davantage un comportement. Molières et Launay étudient géométriquement les lois de la réflexion et de la réfraction en considérant que la vitesse de la lumière décroît dans un milieu plus dense, ce qui permet de rendre compte que le rayon se rapproche de la normale. Suit l'interprétation mécanique de cette perte de vitesse justifiée par les règles du choc, avec des modifications de vitesses continues comme en atteste l'examen du phénomène d'« inflexion » qui mobilise des atmosphères aux densités variant continûment.

Les différents auteurs attribuent une plus grande « force » à la vibration rouge, qui ainsi s'avère moins réfractée, mais pour des raisons différentes. Manifestement, cette « force » peut correspondre à la plus grande vitesse de propagation de l'onde, et les moindres réfractions s'interpréter alors suivant un modèle balistique. Par ailleurs, si Malebranche, Molières ou Launay distinguent explicitement fréquence et amplitude, il n'est pas impensable que cette « force » ait aussi à voir avec l'amplitude d'une onde, conception qui semble se rencontrer chez Newton qui attribue la vibration la plus ample à la couleur rouge laquelle moins déviée est aussi la plus « forte » ; Newton donne aussi à cette radiation la plus petite fréquence à l'instar de Malebranche et Molières. Les raisons de ces apparentes contradictions sont probablement à rechercher du côté d'analogies établies entre les ondes lumineuses et celles de l'eau³. Quoi qu'il en soit, que cette « force » soit associée à une vitesse et/ou à une amplitude, Molières et Launay n'établissent pas d'expressions mathématiques liant ces grandeurs à la fréquence. Par ailleurs, en considérant que l'intensité de forces centrifuges décroît quand les tourbillons s'agrandissent, Launay considère que les ondes les plus « fortes » vibrent plus

mécanisme que nous avons établi ». Molières [1739], Leçon XX, Proposition I, p. 428. Concernant le son, Molières n'évoque que sa propagation « de toutes parts en lignes droites » depuis sa source bien « qu'il se propage quelquefois en des lignes courbes (*ibid.*, p. 423-424), sa vitesse de propagation (*ibid.*, p. 425-426), le fait que « le Son est un mouvement produit par les vibrations & le frémissement des parties du corps sonore, transmis aux particules de l'Air en forme d'ondes sphériques », Proposition II, p. 436-441.

1 Molières résume la théorie de Newton à celle de l'émission dans le vide, Molières [1739], Leçon XX, Proposition III, p. 465. Il faudrait ajouter Bernoulli à cette liste de savants qui ne commente pas l'usage par Newton de l'éther et de sa théorie des accès pour l'interprétation des anneaux dits de Newton, voir sur ce point Hakfoort, *Optics in the age of Euler*, p. 64.

2 Huygens, *Traité de la lumière*, p. 12-13.

3 Nous empruntons cette thèse à Darrigol, « The Analogy between Light and Sound », p. 234 : « The waves created by throwing a stone into water have lengths and amplitude both growing with the size of the stone, so that early waves theorists commonly assumed correlation between length and amplitude » (« les ondes créées en jetant une pierre dans l'eau ont des longueurs et des amplitudes qui augmentent avec la taille de la pierre, de sorte que les premiers théoriciens ondulatoires supposent généralement une corrélation entre la longueur et l'amplitude »).

fréquemment et s'opposent alors à Malebranche et Molières. Pour sa part, Bernoulli donne un développement quantitatif liant fréquence et vitesse de propagation par le biais de l'élasticité de l'éther, et donc des forces centrifuges des tourbillons et de la densité d'une fibre lumineuse.

Quels liens entretiennent les explications de phénomènes lumineux avec le « ciseau universel », suivant le mot de Molières, à savoir la rupture d'équilibre des petits tourbillons à laquelle se joint cette idée qu'un corps se meut du côté vers lequel il est moins poussé ? La différence de pression de l'éther évoquée par Malebranche pour la réfraction paraît peu compatible avec l'équilibre général du système des tourbillons¹. Pour Molières, Launay et Keranflech, les tourbillons de deux milieux différents s'équilibrent et ce sont les vitesses de propagation de cette pression qui diffèrent². Chez J. (II) Bernoulli, le rayon incident et le rayon réfracté doivent conserver une situation d'équilibre ; la réfraction n'est pas tant le résultat d'une rupture d'équilibre que la manifestation d'un équilibre. Les phénomènes lumineux n'impliquent pas de mouvement de matière, autrement dit les tourbillons de l'éther ne migrent pas vers l'endroit où ils seraient moins pressés. Contrairement à Malebranche qui estime la vitesse de la lumière infinie, Molières et Launay justifient mécaniquement la variation de vitesse en changeant de milieu et mettent alors l'accent sur une description cinématique basée sur une analogie avec les chocs. Tout en s'appuyant sur l'optique de Huygens, ils insistent, comme Bernoulli, sur la nécessité de rendre compte de l'élasticité des milieux ce que, selon eux, Huygens ne ferait pas.

PHENOMENES MAGNETIQUES

Pour Molières et Béraud, la théorie magnétique s'écrit tout d'abord contre Descartes et les « cartésiens ». Ils dénoncent l'usage de corpuscules aux figures particulières non justifiées et l'impossibilité de permanence du mouvement dans de tels systèmes. Malgré tout, Molières ne substitue pas aux corpuscules cartésiens des petits tourbillons et ceux-ci ne composent donc pas, comme c'est le cas chez Béraud et Keranflech, la « matière magnétique ». Pour la nature de cette matière, Molières évoque indifféremment le premier élément de Descartes ou les tourbillons de Malebranche. Par ailleurs, bien que les déséquilibres semblent constituer pour Molières le cadre général explicatif des phénomènes magnétiques, il ne met qu'insuffisamment en pleine lumière le rôle des petits tourbillons dans de tels processus³. Dans un mémoire de 1748 qui remporte le prix de l'Académie de Bordeaux, Béraud émet des réserves sur la théorie de Molières et complète d'une certaine manière son développement lacunaire. Partant de la structure physique des corps magnétiques, il propose une théorie où les phénomènes s'interprètent via des atmosphères magnétiques de densités différentes composées de petits tourbillons, des différences de densités qui constituent « le principe de tous les Phénomènes de l'Aïman ». Pour sa part, Keranflech conçoit la matière magnétique comme un ordre particulier de petits tourbillons.

LA CRITIQUE D'EXPLICATIONS MECANIQUES

-
- 1 A l'interface de l'air et d'une rivière les tourbillons doivent s'équilibrer, autrement dit possèdent des forces égales qui s'opposent, sous peine qu'il existe un flux de tourbillons susceptible de produire, par exemple, de la glace (voir Partie II, Chapitre III).
 - 2 Rappelons que même plus denses les tourbillons de l'eau équilibrent ceux de l'éther, voir Molières [1736], Leçon VIII, Proposition V, p. 255-256 et Proposition VI, p. 258-261.
 - 3 La Leçon XIV des *Leçons de Physique* portant sur le magnétisme est un « Extrait des Registres de l'Académie Royale des Sciences du 20 Juin 1734 », voir Molières [1737], Leçon XIV, p. 355. La « Nouvelle Explication du Magnétisme » de Molières figure dans les Procès-verbaux de l'Académie Royale, tome 53, 17 juillet 1734, p. 208v-219v.

Lorsque Molières écrit vouloir proposer une « nouvelle explication du magnétisme »¹, l'interlocuteur privilégié est Descartes dont il entend réviser la théorie. Le magnétisme chez Descartes s'avère indissociable d'éléments de cosmogonie relatifs à la formation des astres et à la circulation des « parties cannelées », à savoir des parties de son premier élément². Ces parties cannelées qui entrent par chacun des deux pôles du tourbillon d'un astre migrent vers cet astre et sont « tournées en coquille » – en forme de vis – dans des sens opposés selon qu'elles viennent du pôle nord ou sud (*ibid.*, art. 91, p. 155)³. Le premier élément et ses parties cannelées circulent du pôle d'un tourbillon à celui d'un astre ; lorsque ce dernier se trouve recouvert d'une croûte et qu'il donne ainsi naissance à une planète, cette matière subtile peut circuler dans ses pores et celle qui traverse l'astre dans la direction nord-sud ne saurait se mouvoir dans le sens opposé. En effet, la croûte recouvrant les astres provient des « petites branches » des parties du premier élément qui se sont associées : lors de la formation de la planète les parties cannelées se créent un passage dans sa croûte et font se plier les « branches » qui sont dans les conduits où passent ces parties cannelées ; à rebours, elles redresseraient ces « branches » ce qui boucherait le passage (*ibid.*, art. 106, p. 163). Par ailleurs, les canaux creusés du nord vers le sud et ceux du sud vers le nord ont « leurs rayes ou canaux [qui] sont tournés en coquille d'une façon toute contraire », à savoir suivant « l'écrasé d'une vis » dans des sens différents et ceci à cause de la forme des parties cannelées (*ibid.*, art. 107, p. 163-164). Les parties cannelées qui migrent du nord vers le sud rencontrent au niveau de ce pôle le second élément et les parties qui migrent dans le sens opposé : certaines « retournent de tous costez » vers l'hémisphère nord d'où elles viennent, puis se meuvent à nouveau dans les pores où elles sont déjà passées, et composent un tourbillon autour de l'astre, tandis que d'autres sont « brisées & dissipées » ou bien vont au niveau de l'écliptique du tourbillon de l'astre ; un même type de circulation affecte l'astre dans le sens opposé (*ibid.*, art. 108, p. 164-165). Par cette double circulation des parties cannelées dans les pores, « toute la masse de la Terre est un ayman »⁴ ; les propriétés de l'aimant s'expliquent en effet par ce double flux.

L'« ayman & le fer participent beaucoup de la nature l'un de l'autre » : tous les deux « parcelles de la Terre intérieure », ils sont comme la croûte d'une planète composés de pores propres à recevoir les parties cannelées. Le fer contient des pores susceptibles de recevoir ces parties dans les deux sens de circulation du fait de la flexibilité des « petites branches » du premier élément qui composent ses pores ; *a contrario*, pour l'aimant, ces « pointes » demeurent dans une même « situation » (*ibid.*, art. 138 et 139, p. 274-275)⁵. La circulation des parties cannelées se fait plus difficilement à l'extérieur de la Terre qu'à l'intérieur : là, « elles y sont continuellement heurtées par les parties du second & du troisième élément » et changent alors souvent de « figure », ici elles trouvent « des conduits si ajustés à leur mesure, qu'elles y passent sans aucun empeschement » (*ibid.*, art. 147, p. 284). De la même manière, après être sortie de l'aimant, « la résistance qu'elles [les parties cannelées] trouvent en l'air qui les environne » fait que la plupart « retournent par cet air » vers le côté d'où elles entrent (*ibid.*, art. 152 et 153, p. 286-287). Il se crée ainsi deux circulations de sens opposés d'un pôle à l'autre.

1 Molières [1737], Leçon XIV, p. 355.

2 Sur la formation de ces parties cannelées et leur forme, voir Descartes, *Principes*, III, AT IX, art. 87 à 93, p. 152-156.

3 Pour le tourbillon d'un astre, la matière subtile entre par les pôles et ressort au niveau du plan de l'écliptique lequel est en contact avec d'autres pôles d'autres tourbillons. Voir art. 65 à 69 p. 136-140.

4 Descartes, *Principes*, III, IV, art. 133, p. 271.

5 Pour l'acier, les « petites pointes » dans les canaux « ne s'y renversent pas si aisément d'un côté sur l'autre, qu'ils sont dans le fer ». Par ailleurs, « ces conduits ne sont point tous tournés, ny dans l'acier ny dans le fer, ainsi qu'ils sont dans l'ayman » : ils se disposent « en diverses façons & sans aucun ordre certain » contrairement à l'aimant pour lequel les conduits où passent les parties cannelées venant du pôle austral « regardent vers un même côté », de même pour ceux où circulent les parties cannelées venant du pôle opposé, *ibid.*, art. 144, p. 279.

Lorsque les parties cannelées se présentent de « biais » sur un aimant, « par la force qu'elles ont à continuer leur mouvement en lignes droites, elles poussent celles de ses parties [de l'aimant] qu'elles rencontrent, jusques à ce qu'elles ayent donné la situation qui leur est la plus commode » (*ibid.*, art. 150, p. 285). Les aimants s'approchent lorsqu'ils se présentent leurs pôles opposés : les parties cannelées se meuvent plus vite dans les canaux que dans l'air car elles ne se mêlent dans ceux-ci qu'avec le premier élément qui les accélère et non avec l'air qui résiste et, conséquemment, en sortant d'un pôle « elles continuent quelque peu leur mouvement en lignes droites » avant que l'air ne les détourne ; lorsque la « sphere d'activité » d'un aimant voisine celle d'un autre le rapprochement des aimants et la correspondance des conduits rendent le mouvement en lignes droites d'un aimant à l'autre manifestement « plus aisé », les parties cannelées « chass[ent] l'air » entre ces deux aimants vers leurs extrémités opposées et « cet air ainsi chassé fait avancer les deux ayments » (*ibid.*, art. 153, p. 287-288). En présentant deux pôles opposés, les parties cannelées sortant des deux aimants ne peuvent pas entrer d'un aimant dans l'autre et « se doivent réserver entre-deux quelque espace pour passer en l'air alentour » (*ibid.*, art. 154, p. 288-289), d'où la répulsion.

L'aimant peut donner au fer sa « vertu » puisque ce dernier contient déjà des conduits comprenant des « petites pointes » bien que « tournées sans ordre » ; les parties cannelées sortant de l'aimant ont « la force » de disposer ces « pointes » dans le sens convenable (*ibid.*, art. 158, p. 290). Dès lors s'explique que le fer et l'aimant « s'approchent naturellement l'un de l'autre » : placé dans la sphere d'activité de l'aimant, le fer acquiert la « vertu » de l'aimant, les parties cannelées passent de l'aimant au fer, chassent l'air entre eux et ils s'approchent ainsi qu'il a été expliqué pour l'attraction entre deux aimants (*ibid.*, art. 171, p. 297). La disposition de la « limure de fer » autour de l'aimant indique « les chemins qu'elles [les parties cannelées] tiennent apres estre sorties de l'aymant ». Les mouvements de cette limaille soumise à deux aimants dépendent de la matière cannelée associée à ces aimants qui se « poussent » mutuellement et qui peuvent aussi pousser cette limaille (*ibid.*, art. 179, p. 302-303)¹.

Cette théorie repose donc sur des configurations particulières de corps – des pores/canaux conçus comme des écrous, des parties cannelées dont la forme correspond à ces conduits – et sur la double circulation d'une matière subtile. Des chocs interviennent par la résistance de l'air – plus précisément le second et le troisième élément dans l'atmosphère – permettant d'expliquer la circulation autour de l'aimant sous la forme de filets que rend manifeste la disposition de la limaille de fer ; ces « poussées » expliquent aussi des phénomènes d'attraction-répulsion. Rohault et Régis suivent les explications de Descartes². Charles François de Cisternay Dufay n'adopte ni la double circulation de Descartes ni ses « écrous » ou « vis » ; il suppose, cependant, une circulation dans un même sens d'une matière subtile – pour la Terre comme pour un aimant, elle entre par le pôle nord et sort par le sud – et comme Descartes il imagine aussi des « poils » dans les pores de l'aimant qui permettent le mouvement de la matière subtile dans un seul sens³.

Les critiques de Molières et de Béraud se portent contre la double circulation imaginée par Descartes, contre la circulation en un unique sens, et contre l'hypothèse de « figures » particulières attribuées à la matière. Des critiques déjà rencontrées à l'encontre des « mouvemens inconcevables » et des « figures imaginées à plaisir »⁴ : pour ces deux savants,

1 Ainsi, qu'on suppose la limaille attachée à un pôle, en approchant le même pôle d'un autre aimant, les filets de limaille qui pendaient vers le bas changent de sens parce que les parties cannelées du premier aimant sont « repoussées » par celles qui sortent de l'autre. Si cet aimant qu'on rapproche est « plus fort » que l'autre, les parties cannelées font se détacher la limaille accrochée au premier aimant en faisant effort pour passer à travers ses pores.

2 Voir Rohault, *Traité de Physique*, p. 205-236 ; Régis, *Système de philosophie*, t. III, p. 448-487.

3 Dufay, *Observations sur quelques Expériences de l'Aimant*, MARS 1728 (1730), p. 355-369 ; *Suite des Observations sur l'Aimant*, MARS 1730 (1732), p. 142-157 ; *Troisième Mémoire sur l'Aimant*, MARS 1731 (1733), p. 417-432.

4 Molières [1737], Leçon XIV, p. 408. Pour ces critiques, voir Partie II, Chapitres II et III.

de tels systèmes rendent impensables la permanence du mouvement et ces « cartésiens » attribuent gratuitement des formes aux corps¹. En effet, selon Molières, de l'observation de la position de la limaille de fer autour d'un aimant, Descartes en aurait déduit la double circulation de la matière subtile : Molières souligne plutôt que l'expérience témoigne de la présence d'une « atmosphère » autour de l'aimant dont les parties prennent une disposition semblable à la limaille, et qu'« on ne voit pas que cette matière circule d'un pôle à l'autre » mais qu'on le « suppose »². Il récuse l'existence d'un « mouvement progressif » au sein des pores des corps – aimant, fer –, parce que ceci « offusque le mécanisme général de la nature » : l'auteur dénonce les mouvements de particules « en tous sens », écrit à propos des systèmes supposant un sens unique de circulation qu'ils ne dévoilent ni la cause ni les raisons de la permanence de ces mouvements, remarque que « de très-petits corps » devraient ainsi se mouvoir d'un pôle à l'autre le long des méridiens et traverser le globe terrestre dans des pores étroits, et ce toujours de la même façon sans rien perdre de leur vitesse³. Il entend expliquer plus « simplement » les phénomènes magnétiques sans recourir à ces mouvements.

Cette nécessité d'une simplification est aussi évoquée par Béraud qui évoque « le nombreux attirail d'instruments inutiles » de Descartes ou les « différens ressorts » de ce système : « ce double tourbillon, ces écrous, ces vis, ces poils, tout cela présente un spectacle de machines ou l'imagination brille, mais où on n'aperçoit point les voyes toujours simples de la nature ». Il s'interroge sur la continuation des mouvements « sans jamais que ces torrens qui vont en sens opposés, se rencontrent & se choquent ». Il remarque aussi, en reprenant le propos de Molières, que même sous l'hypothèse d'un tourbillon simple la constance d'une vitesse de circulation reste difficilement pensable⁴.

La critique d'une impossibilité d'un mouvement en tourbillon autour de l'aimant s'appuie aussi sur des données expérimentales, essentiellement tirées de travaux de Pierre Le Monnier relatés dans un mémoire de Fontenelle et dont Béraud cite quelques passages. Ainsi, dans l'hypothèse du tourbillon, la matière sortant du pôle austral s'écarte de celui-ci se meut de part et d'autre de l'aimant, et se rassemble à l'autre pôle. La limaille représente le mouvement de la matière subtile et, en la déposant sur une glace et en faisant passer dessous un aimant, le pôle austral devrait écarter la limaille, le boréal la rapprocher, ce qui ne s'observe pas, « quelque pôle que l'on présente à la limaille, elle a toujours le même mouvement, la même direction ». Que l'on passe un aimant sous la limaille elle se meut selon un même sens opposé à celui de l'aimant quel que soit le pôle qui lui est présentée : le tourbillon, s'il existe, devant entrer par un pôle et sortir par un autre possède donc des mouvements en sens contraires à chaque pôle, et la limaille ne devrait donc pas suivre le même sens⁵.

DE REAUMUR A MOLIERES : LES BASES D'UNE EXPLICATION DU MAGNETISME FONDEE SUR LES PETITS TOURBILLONS

Certains principes avancés par Molières figurent dans un mémoire sur l'aimantation du fer et de l'acier de René Antoine Ferchault de Réaumur⁶. Ce dernier suppose que la « vertu magnétique » de l'aimant résulte « des tourbillons de matière magnétique qui circulent dedans & autour » ; l'aimantation du fer provient de l'acquisition de tels tourbillons et « plus la

1 Des éléments des théories de Descartes et de Dufay tels que rapportés ci-dessus figurent dans Molières [1737], Leçon XIV, p. 358-363 et Béraud, *Dissertation sur le rapport qui se trouve entre la cause des effets de l'Aimant, & celle des Phénomènes de l'Electricité*, Bordeaux, Pierre Brun, 1748, p. 7-8. Molières ne nomme que Descartes, Béraud mentionne Descartes et Dufay.

2 Molières [1737], Leçon XIV, p. 358-359.

3 *Ibid.*, p. 362-363.

4 Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 8.

5 *Ibid.*, p. 8-9. Voir Fontenelle, *Sur l'aimant*, HARS 1733 (1735), p. 16-17.

6 Réaumur, *Expériences qui montrent avec quelle facilité le Fer & l'Acier s'aimantent, sans même toucher l'Aimant*, MARS 1723 (1725), p. 81-105.

quantité de matière qui compose un tourbillon devient grande, & plus la vertu attractive devient forte ». Réaumur suppose aussi que bien que la « vertu magnétique » d'un morceau de fer ne se manifeste pas il « est cependant actuellement rempli de matière magnétique qui y circule, & qui peut-être y est en quelque sorte emprisonnée » : « dans l'intérieur de tout Fer il y a actuellement de la matière magnétique qui y forme une infinité de petits tourbillons différents qui ont chacun leurs poles particuliers, & [...] la plupart des passages, par où cette matière pourroit s'échapper, sont peut-être bouchés » (*ibid.*, p. 84-85). Le fer forme donc un « Aimant imparfait » : d'une part, par sa constitution interne qui fait obstacle à la libre circulation de la matière magnétique qui se voit alors « emprisonnée » et qui est alors en mouvement en son sein sous la forme de petits tourbillons ; d'autre part, parce que même si une matière fluide entre et sort du fer et qu'il possède alors « comme [...] l'Aimant, une atmosphère », celle-ci est « moins étendue » et ne produit pas les mêmes effets que celle d'un aimant car le fer « manque de poles aussi-bien déterminés ». En effet,

c'est de ses poles que l'Aimant tire sa force, c'est par eux que passe la plus grande partie de la matière qui y circule ; il ne peut presque rien vers son équateur pendant que ses poles soutiennent des poids considerables. Un Aimant dont les poles seront mieux marqués que ceux d'un autre, aura plus de force, quoi-que la même quantité de matière magnétique circule dans l'un & dans l'autre. Si donc on conçoit que le Fer est, pour ainsi dire, un Aimant broüillé, un assemblage d'une infinité de petits Aimants, qu'il ressemble à une masse de poudre d'Aimant ; en un mot, que le Fer a presque par-tout des poles insensibles, il sera aisé de concevoir que quoi-qu'il se fasse autour de ce métal & dans son interieur une grande circulation de matière magnétique, qu'il n'en doit pas avoir plus de force attractive, parce que les tourbillons, les courants ne concourent pas vers le même endroit (*ibid.*, p. 87-88).

Figure ici une idée que Molières développe, à savoir qu'une direction commune doit rendre-compte de l'intensité d'une force magnétique et de l'aimantation d'un métal. Ainsi,

dès qu'il sera établi qu'il se fait autour du Fer & dedans tout Fer une circulation de matière magnétique, mais que cette matière est partagée en une infinité de petits tourbillons qui ont des poles différents, il paroitra moins merveilleux que l'attouchement presque instantanée d'une Pierre d'Aimant mette le Fer en état d'attirer d'autre Fer. Les torrents qui sortent de la Pierre ouvrent des routes dans une certaine direction, qui est celle du cours de ces torrents, & ces routes une fois ouvertes, la matière même qui circuloit autour du Fer les enfile. Il avoit de son propre fonds assez de cette matière, il n'étoit question que de la réunir, que de la diriger, que de la mettre en état de concourir à produire le même effet (*ibid.*, p. 91).

Comment des outils en acier acquièrent « la vertu d'attirer le fer » ? La pointe d'un marteau assenée sur le métal en presse les parties et les sépare ce qui contribue à aimanter l'outil :

les tourbillons qui se trouvoient dans le chemin qui a été ouvert [par l'impact], sont donc dérangés ; ceux même qui se trouvoient entre les parties du Fer qui se sont rapprochés sont alors trop comprimés : la matière de ces tourbillons est donc forcée de prendre d'autres directions ; sçavoir, celles où elle trouve moins de résistance ; & ce sont sans doute celles qui la conduisent à enfile l'outil d'Acier ; ses parties plus dures, plus roides que celles du Fer, n'ont point, ou ont été très peu comprimées, pendant que les autres l'ont été considerablement [...] la matière magnétique a donc plus de facilité à entrer dans l'Acier qu'à continuer à circuler dans le Fer [...] elle s'y ouvre ainsi de nouveaux passages, ou aggrandit ceux qui y étoient déjà ; & toute cette matière tendant à prendre la même route, l'Acier se trouve dans le même cas où il seroit, si on l'eût appliqué contre un des poles d'un Aimant foible (*ibid.*, p. 85)¹.

1 Réaumur rapporte que dans les boutiques d'artisans (serruriers, couteliers etc.), les instruments servant à « couper ou percer le fer à froid » (ciseaux, poinçons etc.) deviennent aimantés après leur action sur le fer, *ibid.*, p. 82 et p. 83.

En réitérant cette percussion, de nouveaux chemins se créés, la matière magnétique circule plus librement et abondamment dans l'acier, ce qui augmente alors sa « vertu d'attirer »¹. Les mécanismes de compression-expansion décrits dans la précédente citation, voire les variations de densités de matière subtile², ne constituent pas le fondement d'une étude plus globale sur le magnétisme, Réaumur précisant ne pas chercher « comment cette matière attire » (*ibid.*, p. 84). Cette direction commune de « petits Aimants » au sein d'un corps magnétique rendant compte de l'intensité de sa force, ces « petits Aimants » entourés de petits tourbillons, la migration de la matière magnétique vers où elle trouve moins de résistance sont autant d'éléments présents chez Molières qui se réfère à Réaumur.

Molières conçoit, à l'instar de Réaumur, le fer comme « composé de petits aimans » aux pôles disposés en tous sens mais qui soumis à un aimant s'orientent d'une certaine manière³. Ainsi, une aiguille aimantée tourne sur son pivot afin de présenter un pôle contraire à celui de l'aimant qu'on approche et « c'est justement ce qui doit arriver aux petits aimans contenus dans les pores du fer » et dans « la pierre d'aiman ». Ces « petits aimans [...] ne sont autres choses que les particules de la matière magnétique » qui remplissent les pores de la matière et qui possèdent « la vertu, non pas de s'attirer l'un l'autre, ni de se joindre & de s'attacher [...] mais simplement celle de se diriger l'une vers l'autre [...] lorsque ces particules peuvent vaincre les petits obstacles qui les retiennent ». La disposition que prend la limaille de fer autour d'un aimant montre qu'il existe « une atmosphère qui l'environne » : les particules de cette atmosphère correspondent à de « petits aimans sphériques » orientés et « tous les effets du magnétisme, sont une suite mécanique de cette seule direction constante & invariable [des] particules de la matière magnétique ». Ainsi, contrairement à l'hypothèse de Descartes d'une double circulation d'un fluide d'un pôle à l'autre de l'aimant, Molières suppose que l'atmosphère dans les pores et celle immédiatement environnante comprend des « particules » immobiles, assimilables à de « petits aimans », mais qui sous une contrainte « s'arrangeront entre elles » afin de prendre une direction commune (*ibid.*, p. 364-368).

Avant que d'explicitier le rôle de cette « direction constante & invariable » dans certains « effets » magnétiques, Molières définit la « cause générale » de l'attraction et la répulsion de corps aimantés qui repose sur un principe explicatif déjà rencontré chez Malebranche. Ainsi, un corps suspendu par un fil dans un « fluide élastique » comme l'air ou l'éther demeure au repos « parce qu'il est également comprimé de toutes parts par les parties du fluide qui tendant à s'étendre, poussent le mobile avec des forces égales dans toutes les directions qui passent par son centre » ; si pour une cause quelconque le corps est moins pressé d'un côté que d'un autre, il se meut aussitôt vers cet endroit (*ibid.*, p. 370-371).

Molières illustre ceci en considérant ces « corps électriques » tels que « l'Ambre & toutes les Résines, le Verre & toutes les Pierres précieuses » qui acquièrent cette « vertu » d'attirer ou de repousser après « un rude frottement qui excite autour d'eux une atmosphère » : celle-ci se compose d'un ensemble de « petits corps » suspendus dans l'air aucunement animés de circulations comme l'affirme Descartes ; une atmosphère conçue comme « une espèce de brouillard répandu sur toute la superficie de ces corps » (*ibid.*, p. 372-373)⁴. Pour Molières,

1 Inversement, des coups de marteau peuvent obstruer les « passages » ce qui oppose une résistance à la circulation de la matière magnétique et « fait perdre au Fer la vertu d'attirer », *ibid.*, p. 87.

2 Ainsi, l'augmentation de la « force » d'un aimant ou d'un corps en fer aimanté placé dans l'atmosphère d'un autre aimant résulte de « la matière magnétique qui circule autour de l'Aimant ; une partie de cette matière se détourne, elle prend sa route vers le fer aimanté, ou vers l'Aimant plus foible ; plus de matière magnétique pénètre alors, ou, ce qui est la même chose, leur force attractive est augmentée », *ibid.*, p. 90. Manifestement, cette matière magnétique qui se « détourne » migre vers un corps en contenant moins.

3 Molières [1737], Leçon XIV, p. 365. Le mémoire de Réaumur est mentionné p. 365, p. 391, p. 401 et p. 406.

4 S'il existait une circulation de matière autour d'un corps électrisé, « les petits corps » qui demeurent suspendus – les feuilles d'or etc. – devraient circuler « dans un sens déterminé » ce qui ne s'observe pas. Descartes suppose pour le verre, l'ambre, la cire etc. après avoir été frottés une circulation du premier élément dans les pores et dans l'air environnant de

« les couches sphériques de ces atmospheres, voisines de la superficie de ces corps sont plus denses & d'un tissu plus serré que celles qui en sont plus éloignées » et un corps occupe le centre de son atmosphère « puisqu'autrement les couches seroient plus comprimées d'un côté que de l'autre ; ce qui est impossible dans un fluide uniformément élastique »¹.

Si des corps approchés se repoussent, « cela ne vient que ce que leurs atmospheres sont comme deux especes de liqueurs qui ne se mêlent pas ensemble » comme l'eau et l'huile. En effet, leurs atmosphères s'aplatissent « par l'effort subit du mouvement étranger qu'on leur imprimera, & [elles] s'écarteront de ces corps du côté de *C & O* » (Fig. 34). Puis elles tendent à retrouver leur forme d'origine par « l'action comprimente du fluide environnant [...] Ce qui ne peut se faire que les corps *A, B*, qui dans une situation libre doivent occuper le centre de leurs atmospheres [...] ne s'écartent en même tems l'un de l'autre » : les corps « s'écarteront vers *I & vers K* [...] parce que le fluide environnant redonnera peu à peu la forme sphérique aux couches applaties ». *A contrario*, lorsque « ces atmospheres se mêlent facilement », à l'instar de deux fluides de même nature (« de la nature de l'huile, par exemple »), elles se confondent et n'en forment qu'une seule « qui d'abord sera longue ou ovale, mais qui tendra ensuite à s'arrondir par l'effort élastique du fluide environnant », ce qui ne peut se faire sans que « les corps *A, B* ne s'approchent l'un de l'autre vers *X* » (*ibid.*, p. 374-379) (Fig. 35).

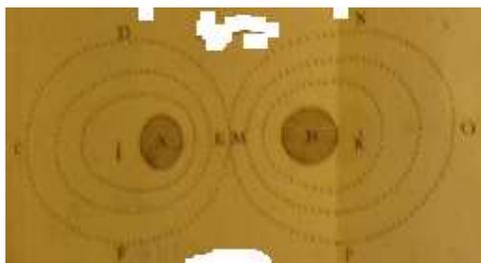


Fig. 34 : Molières [1737], Pl. V, fig. 37

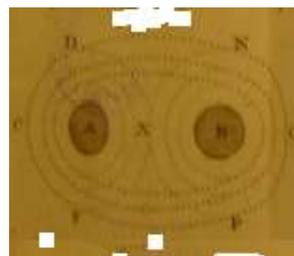


Fig. 35: Molières [1737], Pl. V, fig. 38

Comme ces « corps électriques », un aimant possède aussi une atmosphère. Elle se compose de « particules de la matiere magnetique » aux comportements semblables à ceux de petites aiguilles aimantées. A l'approche de deux pôles opposés de deux aimants *AB* et *ab* (Fig. 36), les « files *AC, AD* de particules de la matiere magnetique qui environnent l'aiman *AB*, se joindront aux files *bc, bd* des particules de celle qui environne l'aiman *ab*, & qui sont disposées de la même façon » ; elles « composeront » une seule atmosphère *ACcadDA* « ce qui sera cause [...] que ces aimans s'approcheront par l'action comprimante du milieu qui les entoure », les aimants pouvant ainsi être fortement joints par « l'effort élastique de la matiere étherée ». L'approche de pôles identiques de deux aimants implique la mise en vis-à-vis des pôles identiques de chacun des « globules » de matière magnétique et « ces deux atmospheres [...] dont les parties étant élastiques, comme le sont toutes celles de l'éther, s'entrepuusseront mutuellement ». Molières évoque aussi le cas où « les directions des impulsions de deux aimans [sont] obliques », alors elles peuvent imposer à l'un des corps à faire demi-tour pour qu'il présente le pôle adéquat (*ibid.*, p. 382-386).

ces corps, ce qui expliquerait que des « festus ou autres petits corps » puissent être entraînés, Descartes, *Principes*, IV, AT IX, art. 184 à art. 187 p. 305-309.

1 Molières [1737], Leçon XIV, p. 375-376.

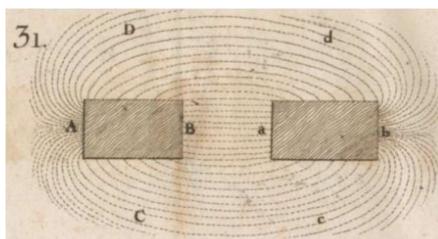


Fig. 36 : Molières [1737], Pl. V, Fig. 31

En approchant un aimant d'un fer, ce dernier acquiert « la vertu de l'aimant », autrement dit une atmosphère et des pôles. Cette aimantation informe que le fer contient dans ses pores « un grand nombre de [...] petites parties magnetiques » qui pénètrent aussi bien les grands pores que les plus petits du fer, mais leurs pôles se trouvent « diversement situés », autrement dit, pas tous orientés de la même manière : les corpuscules d'un aimant « les contraignent à la longue [à] tourner sur leurs centres » et à prendre une orientation commune à la leur, malgré des obstacles qui les retiennent tels que « certains petits frottemens » dus à la structure interne du fer. Molières note que

ces petits aimans [les particules magnétiques] étant en bien plus grande abondance dans le fer que dans l'air, ceux qui sont dans le fer [...] ayant reçu la même direction, composeront un tout dans lequel la vertu magnétique, qui ne consiste que dans cet accord de directions, sera beaucoup plus grande que dans un pareil volume de l'espace voisin (*ibid.*, p. 391-393).

Le fer devient ainsi « un vrai aimant ». *A contrario*, des matériaux tels que le verre, l'or etc. ne se voient ni attirés ni repoussés par l'aimant dont l'atmosphère « s'étend » dans ces corps sans qu'il ne s'en forme une propre. Bien que ces matières contiennent des « parties magnetiques », elles ne pénètrent pas les pores comme pour l'aimant ou le fer notamment parce qu'ils peuvent être trop petits. Dans ces conditions,

à l'entour de ces corps, qui ne contiennent qu'autant de matiere magnetique qu'il en peut être contenu dans un pareil volume d'air, il ne s'y formera pas une atmosphere magnetique : mais [...] seulement l'atmosphere de l'aiman [...] s'y étendra comme elle le feroit dans l'air sans y trouver aucun obstacle ; & [...] les petites parties magnetiques ne pouvant pas pénétrer dans les moindres pores de ces corps, continueront de [les] comprimer autant que le fluide environnant peut le faire.

Ainsi, quoiqu'on approche un corps en verre etc. vers un aimant, les couches sphériques de l'atmosphère de ce dernier ne sont pas dérangées et l'aimant demeure au centre de cette dernière ; de la même manière, le morceau de verre reste « également comprimé de toutes parts » et ne se voit ainsi ni repoussé, ni attiré (*ibid.*, p. 388-389).

Pour justifier ces orientations privilégiées de particules magnétiques, Molières suppose une circulation de l'éther au niveau d'une planète, éther qui « sort du côté des poles » et rentre « du côté de l'équateur », et « les parties [...] de cette matiere très-subtile, qui sortent du côté des poles, doivent entraîner avec elle plusieurs petits corps ronds & solides qu'elles auront pénétrés selon cette direction, lesquels se répandront de toutes parts dans l'air qui environne la Terre ». Ces particules correspondent à la matière magnétique et se voient entourées d'un petit tourbillon : les « parties » de la matière subtile « pareilles à celles du premier élément de Descartes, ou à celles dont les petits tourbillons du P. Malebranche sont formés » traversent les pores de ces petits corps et, « parce que tout est plein », elles forment autour de chacun « un petit tourbillon semblable à celui que l'on concevoit être autour d'une pierre d'aiman ». Le sens d'un tel mouvement définit alors la polarité des corpuscules. Ces derniers, avec leur tourbillon mis bout à bout, composent des files le long des méridiens terrestres : cette direction Nord-Sud d'un pôle à l'autre détermine la direction que prennent les aimants. Si

l'éther passant par une particule de matière magnétique AB va de A vers B et celui d'une autre contiguë ab de a vers b , l'éther peut circuler de A vers B puis de a vers b « ce qui donnera à ces globules une direction constante », cet « ordre convenable » les rapprochant ; *a contrario*, pour deux sens de circulation opposés, la matière ne peut poursuivre son chemin et les tourbillons « se combattant par leurs forces centrifuges », le « plus fort [...] vaincra le plus foible, l'obligera de faire un demi-tour ». Molières précise que ces particules s'orientent « par les mêmes moyens dont on a fait usage jusqu'à présent dans l'explication des Phénomènes de l'aiman », à savoir les attractions et répulsions expliquées plus haut (*ibid.*, p. 412-419).

Molières reprend ainsi en les modifiant des schémas explicatifs de Descartes : il évoque des circulations de l'éther dans le tourbillon terrestre, et la formation d'un tourbillon autour d'un globule à cause de la résistance du milieu comme Descartes attribuait la circulation autour d'un aimant à cause de la résistance de l'air. Le sens de circulation de l'éther le long des méridiens se fait manifestement du pôle boréal vers le pôle l'austral (*ibid.*, p. 414)¹. L'avantage, revendiqué, de cette théorie consiste à ne plus recourir à la double circulation de Descartes, aux « poils », « vis » et « écroux ». Molières ne définit pas ici clairement la nature de l'éther, évoquant indifféremment les conceptions de Descartes ou de Malebranche, alors même que toute son œuvre repose sur les petits tourbillons.

Quel est le rôle des petits tourbillons dans les phénomènes magnétiques ? Molières écrit que la « cause générale » des phénomènes consiste en ce que « l'équilibre se rompt » (*ibid.*, p. 372). Dans un premier temps un aimant au centre de son atmosphère subit d'égaux pressions de la part du milieu ambiant. Ensuite, le rapprochement de deux aimants de pôles identiques donne à leurs couches d'atmosphères des figures « ovales », le retour à la forme sphérique par « l'action comprimente du fluide environnant » entraînant la mise en mouvement des corps ; pour l'attraction, la figure « ovale » devient sphérique par « l'effort élastique du fluide environnant » et les aimants s'approchent. Molières se réfère aussi à des liquides qui se mélangent et d'autres qui ne se mélangent pas, image présente chez Béraud et Keranflech à travers les notions d'« homogénéité » et d'« hétérogénéité » associées aux « forces » et sens de circulations de tourbillons comme nous le verrons : pour Béraud l'hétérogénéité correspond à des tourbillons tournant en sens contraires, pour Keranflech à des ordres de tourbillons différents. Molières n'est pas vraiment explicite sur ce point.

Chez Molières, la répulsion d'aimants s'interprète à partir de flux de matière subtile opposés et un aimant prend alors le dessus sur un autre car son atmosphère plus forte fait pivoter l'autre et présenter son autre pôle. Puisque cette répulsion résulte de courants de sens opposés de matière magnétique, il s'agirait là d'une notion proche de l'« hétérogénéité » au sens de Béraud². Molières évoque une quantité de « parties magnetiques » en plus grand nombre dans l'aimant et le fer que dans le verre etc. ou que dans l'air ambiant, et ce à volume égal. Ceci renvoie à des densités différentes d'atmosphères de particules magnétiques et donc à des forces élastiques différentes : en approchant deux aimants, il se créerait un gradient de pression du fait d'un déséquilibre entre les deux atmosphères expliquant l'expansion de celle d'un corps vers un autre, le tout reprenant ensuite une figure sphérique conduisant à la mise en mouvement des corps. Plus précisément, la matière magnétique plus forte d'un aimant se répandrait vers un autre corps, créerait une atmosphère autour de ce dernier plus dense à l'endroit de ce corps le plus voisin de l'aimant ; le corps ne serait plus en équilibre dans son atmosphère, équilibre que l'action du milieu extérieur tendrait à lui faire retrouver par des pressions donnant une forme sphérique à l'atmosphère qui l'environne, ceci contribuant à pousser le corps vers l'aimant. Molières ne donne pas le détail du mécanisme d'attraction et le lecteur s'en trouve réduit à faire des hypothèses. Nous constarons que le scénario ci-dessus

1 Malgré tout, Molières écrit que la matière subtile sort « des poles » de la Terre, voir p. 413.

2 A ceci près que pour Béraud il s'agit de sens contraires de circulation de petits tourbillons, alors que pour Molières de sens opposés de flux d'éther passant à travers les corps magnétiques.

proposé est proche du mécanisme donné par Molières pour l'attraction électrique ; or, il considère les « pierres d'aiman » comme des « corps électriques ». Les écrits de Molières sur l'électricité pourraient alors suppléer ce qui demeure insuffisamment explicité ici : ils permettraient de constater le rôle essentiel des densités d'atmosphères comme c'est le cas dans la théorie magnétique de Béraud¹.

BERAUD ET LA DENSITE DES PETITS TOURBILLONS MAGNETIQUES

La matière et les corps magnétiques

Critiquant Descartes, Béraud explique les phénomènes magnétiques en suivant une autre voie et en s'efforçant d'aller au-delà de Molières :

Mr. L'Abbé de Molieres a essayé de le faire, en substituant une simple Atmosphere autour de l'Aiman à la place du Tourbillon de Descartes : Mais je suis surpris que ce Sçavant Physicien, qui connoissoit si bien la nature de l'Ether, ne s'en soit pas servi pour composer son Atmosphere magnétique. Essayons de le mettre en jeu pour parvenir au but que s'étoit proposé Mr. De Molieres².

Molières ne fonde pas explicitement sa matière magnétique à partir de la réforme qu'il entreprend de la matière subtile de Descartes : les « globules » magnétiques ne sont pas des petits tourbillons mais des corpuscules traversés par l'éther. Pour sa part, Béraud identifie la matière magnétique et celle électrique³. Ainsi, « répandue également » dans tout l'univers, « très-subtile » et « très-élastique », Béraud l'identifie à l'éther. Il remarque, tout comme Molières, Launay ou J. (II) Bernoulli concernant l'éther lumineux, que Huygens et Newton n'assignent pas de cause mécanique à cette élasticité :

pour ne pas tomber dans le même inconvénient, je conçois avec le P. Malebranche, Messieurs Bernoulli & Privat de Molieres, la matiere étherée divisée en une infinité de petits tourbillons, dont chacun, à raison de la force centrifuge de ses parties qui tournent autour d'un centre commun, fait un effort continuel pour se dilater, & se dilate effectivement, lorsque par quelque cause accidentelle, l'équilibre avec les tourbillons voisins vient à se rompre.

L'intensité de cette force s'avère très grande pour des tourbillons extrêmement petits, « comme l'a expliqué Monsieur de Molieres dans ses Leçons de Physique », ce qui leur confère une « force élastique » très grande qui convient « pour expliquer les mouvements prompts & violents du Magnétisme & de l'Electricité » (*ibid.*, p. 2-3).

Béraud conçoit des « files de tourbillons », qui ne diffèrent pas de ceux de la « matiere céleste », le long des méridiens, cette matière ne circulant pas d'un pôle terrestre à l'autre, mais chaque tourbillon participant au mouvement de rotation journalier d'occident en orient de la Terre et possédant un mouvement propre de même sens autour de son axe (*ibid.*, p. 10)⁴. Ainsi,

1 Malgré tout, qu'on suppose un tel mécanisme ou bien qu'on conçoive qu'il faille une dépression entre deux aimants afin qu'ils s'approchent sous l'action du milieu extérieur selon cette maxime que les corps se meuvent vers où ils trouvent moins de résistance, en supposant deux aimants aux atmosphères rigoureusement identiques, leurs tourbillons s'équilibrent mutuellement et le phénomène d'attraction paraît alors difficilement envisageable.

2 Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 9.

3 Ces deux matières pénètrent toutes deux les mêmes milieux et les mêmes corps et exercent à travers eux leurs effets respectifs bien que différents : « n'est-ce pas une raison plus que probable de croire que ces deux matieres sont homogènes ? », *ibid.*, p. 2.

4 Concernant ce second mouvement, Béraud souligne son caractère non « arbitraire », remarquant qu'il existe « dans tous les Corps célestes » lesquels possèdent un mouvement de rotation outre celui de révolution, ce qui donne le « droit » de le supposer pour les tourbillons.

chaque petit tourbillon représente donc le tourbillon terrestre, il a son pôle boreal qui regarde le Nord de la Terre, il a son pôle austral qui regarde le Sud. Voilà la matière magnétique, dont chaque petite partie a sa direction du Nord au Sud.

Ces files de tourbillons d'éther définissent l'orientation d'un aimant. Deux éléments permettent alors de définir un tel corps. D'une part, il s'agit d'une matière comprenant « des parties insensibles, dont les pores présentent un libre passage à cette matière [subtile], disposées en files parallèles entr'elles ; ce qui forme dans l'intérieur de l'Aiman des conduits imperceptibles, longs, étroits & parallèles à son axe » (*ibid.*) D'autre part, l'aimant doit renfermer dans ses pores et son environnement immédiat « moins de matière étherée qu'un pareil volume de fluide environnant » à savoir que l'air (*ibid.*, p. 6). De manière générale, Béraud suppose que

parmi les Corps durs & solides qui sont comme flotans au milieu de l'Ether, il y en a qui contiennent dans leurs pores plus de fluide subtile qu'un pareil volume d'air environnant ; d'autres qui en contiennent moins ; d'autres enfin qui en contiennent autant ou presque autant (*ibid.*, p. 5 voir aussi p. 3).

A l'appui de cette hypothèse, Béraud remarque que les solides contiennent des petits et des grands pores, les premiers laissant libre cours à l'éther, les seconds à des « fluides grossiers » (*ibid.*, p. 5)¹. Puis, il note que la pesanteur spécifique des corps n'apporte pas d'information sur la quantité d'éther qu'ils contiennent : l'or, plus pesant que le fer, et ce dernier que l'aimant, peut à volume égal renfermer davantage de matière subtile que chacun d'entre eux². Ainsi, les corps transparents paraissent contenir davantage d'éther que l'air, puisque la lumière passant de l'air dans le verre s'approche de la normale au verre d'où on conjecture qu'elle se propage plus facilement dans un milieu plus dense : « il n'est donc pas hors de probabilité qu'il y ait plus de matière étherée dans le verre que dans l'air » et des corps peuvent renfermer plus ou moins d'éther qu'un même volume d'air³.

Une fois cette possibilité posée, Béraud en vient à une hypothèse différenciant les corps magnétiques et électriques : « l'Aiman est un Corps solide, qui par la rareté & la disposition de ses petits pores contient moins de matière étherée qu'un pareil volume du fluide environnant » ; « le Corps électrique au contraire est un Corps solide, qui par la configuration de ses parties internes & la multitude de ses petits pores, renferme plus de matière étherée qu'un pareil volume d'air ». Béraud remarque alors que

s'il [l'aimant] en [des tourbillons] contient moins, n'est-il pas évident que les petits tourbillons de l'Ether, soit ceux qui sont dans les pores du solide, soit ceux qui l'environnent, occupant un peu [sic] plus petit espace que dans leur état naturel, sont aussi plus comprimés les uns contre les autres, puisque leur pression augmente en raison de leur densité, & que leur densité est en raison inverse de l'espace qu'ils occupent ? L'effort qu'ils font pour se dilater est toujours égal à la force qui les comprime. Leur élasticité augmente donc en même raison que leur densité.

Autrement dit, un aimant contient moins d'éther qu'un pareil volume d'air à cause de sa structure interne. Occupant un « plus petit espace » que celui qu'ils devraient occuper dans « leur état naturel », les tourbillons subissent davantage de compression d'où leur plus grande densité. Ce dernier terme doit s'entendre comme la quantité d'éther comprise sous un volume d'éther donné, et Béraud compare cette quantité dans l'aimant à celle dans l'air : pour un

1 Ainsi, « l'eau régale » (mélange d'acide chlorhydrique et nitrique) pénètre l'or et le dissout bien qu'il soit « de tous les êtres le plus compact » ; les minéraux et végétaux contiennent une grande quantité d'air ; la lumière – donc l'éther – s'insinue dans les corps solides montrant qu'ils contiennent des canaux étroits.

2 Il peut se faire que les pores de l'aimant ne laissant passage qu'à l'éther soient en plus petits nombre ou plus serrés que ceux du fer, et de même pour ce dernier à l'égard de l'or, *ibid.*, p. 4.

3 *Ibid.* Cette plus grande « facilité » de propagation de la lumière dans un milieu plus dense correspond notamment aux thèses avancées par J. (II) Bernoulli, voir ci-dessus.

même volume les tourbillons dans les pores de l'aimant sont plus resserrés que dans ceux de l'air d'où cette plus grande densité. Ainsi, « l'Aiman est environné d'une Atmosphere de matiere étherée plus dense que dans son état naturel » et ses tourbillons possèdent davantage de « force élastique ». Béraud écrit qu'il en résulte que « les couches [d'éther] en s'éloignant du Corps, vont toujours en diminuant de densité, & par conséquent de force élastique », et ce contrairement aux corps électriques (*ibid.*, p. 5-6)¹. Par ailleurs, « un Aiman est plus fort qu'un autre », donc attire ou repousse davantage, quand il occupe « un volume plus grand » et a par conséquent une « Atmosphere plus étendue », ou quand à volume égal « il contient moins de matière étherée qu'un autre, & par conséquent il a une Atmosphere de matiere plus dense » (*ibid.*, p. 16).

En supposant qu'un corps placé dans l'atmosphère terrestre possède la structure de l'aimant définie ci-dessus et que des « tourbillons de la matiere étherée condensez » l'entourent, ils doivent « se jeter avec effort » dans les « tuyaux propres à les recevoir, s'y mouvoir, y circuler autour de leur axe, leur donner la même direction qu'ils ont ; c'est-à-dire du Nord au Sud, & conséquemment diriger l'aiman vers les poles du Monde » et lui faire conserver cette direction. Un changement de direction impliquerait « que les poles des petits tourbillons variaissent, ce qui n'arrive pas tant qu'ils ont leur mouvement libre », ou que « les parties internes de l'Aiman [...] formassent des files en sens différens », mais la dureté de ces parties s'y opposent. L'aimant se compose donc de « petites files magnetiques dirigées du Nord au Sud, semblables à celles qui forment les molécules de la limaille de fer à l'approche d'une pierre d'Aiman » (*ibid.*, p. 10-11).

Mécanismes des phénomènes magnétiques

Les phénomènes d'attraction-répulsion associés aux aimants résultent de cette densité de matière, de l'orientation des tourbillons et de deux « principes de Physique ». Le premier stipule qu'un corps placé dans un fluide élastique doit demeurer au repos étant également comprimé et que si un déséquilibre survient, « il doit tendre du côté où la pression est moindre, & obéir à la plus forte ». Le second, que deux gouttes d'un même liquide se mêlent et n'en forment qu'une par la pression égale dans toutes les directions du fluide environnant. *A contrario*, deux fluides hétérogènes (par exemple, l'eau et l'huile) ne s'unissent pas, pour cette raison « la plus vraisemblable » qu'ils se composent « de petits tourbillons qui circulent en sens différens & avec différente vitesse, par conséquent avec des forces centrifuges plus grandes ou petites » : les petits tourbillons de ces liquides « doivent se heurter les uns contre les autres », se « repousser » et « par leur ressort resister à la compression du fluide environnant qui fait effort pour les réunir » (*ibid.*, p. 11).

En rapprochant alors les pôles opposés de deux aimants suspendus verticalement, leurs atmosphères se composent de tourbillons circulant tous « d'Occident en Orient » avec une vitesse « à peu près » égale : ces atmosphères sont comme deux gouttes de liquides homogènes et, pressées également de toutes parts par l'éther, elles n'en forment qu'une seule les aimants se joignant en son centre. En présentant deux pôles identiques, les tourbillons d'une atmosphère circulent dans le sens de leur « situation naturelle », d'occident en orient, alors que ceux de l'autre se meuvent d'orient en occident : « ces deux Atmospheres sont en ce cas comme deux gouttes de fluides différens, qui ne peuvent se réunir pour n'en former qu'une, parce que les tourbillons qui les composent circulans en sens contraires doivent se

1 Concernant l'aimant, « la densité des tourbillons qui composent les différentes couches de cette Atmosphere augmente de la circonférence au centre, parce que la première couche qui est en équilibre avec l'Ether environnant comprime la seconde ; la troisième est comprimée par les deux précédentes ; la quatrième par les trois supérieures & ainsi des autres, la pression augmente donc de la circonférence au centre » ; l'éther environnant résiste par des forces orientées de cette circonférence vers le centre, *ibid.*, p. 15. Voir ci-dessous pour les corps électriques.

heurter, s'entrechoquer, de sorte que l'Atmosphère qui est plus dense & dont les tourbillons sont plus élastiques, doit repousser l'autre Atmosphère plus foible, & en même temps la pierre d'Aiman qui en occupe le centre ». De même, si les aimants se présentent selon des directions obliques, il se fait des « Chocs » et « l'Atmosphère la plus forte forcera l'autre à faire demi-tour sur son axe, & à présenter les poles Nordes de ses tourbillons aux poles Suds des siens, de façon qu'ils ayent tous la même direction & qu'ils ne fassent plus qu'une Atmosphère » (*ibid.*, p. 12-13).

Un aimant ne peut ni repousser ni attirer des corps en or, en argent ou en cuivre, parce que par leur « construction intérieure » ils offrent « dans leurs pores à la matière étherée un espace plus grand que celui que leur présente un pareil volume d'air » : ils possèdent donc des tourbillons de moindre force que ceux comprimés de l'atmosphère de l'aimant et ces derniers « doivent s'y précipiter [dans les pores] par l'action de leur ressort, s'y dilater & par conséquent y perdre leur compression & la force de leur ressort : Delà nulle attraction, nulle répulsion ». Autrement dit, les tourbillons migrent là où ils trouvent moins de résistance, soit dans les pores des corps où la matière magnétique est plus au large que dans l'air. *A contrario*, le fer contient « moins de matière étherée qu'un égal volume d'air », tout en possédant une atmosphère « moins dense » que l'aimant : par cette « construction intérieure », le fer placé dans « l'Atmosphère magnétique » de l'aimant « bien loin de contribuer à la dilatation des tourbillons qui composent cette Atmosphère, il en augmente la densité, il doit donc être poussé par ces petits tourbillons dans la même direction que se fait la pression, c'est-à-dire, de la circonférence au centre de l'Aiman » ; les « deux Atmosphères homologènes (sic) » se confondent et le fer est attiré selon le même mécanisme que celui décrit pour deux aimants (*ibid.*, p. 16). En somme, les tourbillons de l'atmosphère de l'aimant dans laquelle se trouve le fer ne se « dilatent » pas comme pour l'or etc. car le fer n'offre pas à ces tourbillons « un espace plus grand que celui que leur présente un pareil volume d'air ». Ainsi, la matière magnétique se mouvant plus facilement dans les pores de certains corps ne les attire pas, contrairement au fer doté d'une structure et d'une densité de tourbillons plus proches de l'aimant¹. Cette conception s'oppose à celle de Descartes pour lequel l'attraction repose sur la plus grande facilité qu'a la matière subtile à pénétrer des corps ; Béraud réfute cette thèse en en appelant notamment à des expériences de Le Monnier².

Cette « densité » d'éther permet d'expliquer deux propriétés que l'aimant donne au fer. Ce dernier comprend autour de lui une « petite Atmosphère », moins dense que celle de l'aimant et trop faible pour produire à elle seule les phénomènes magnétiques. Le fer possède des pores plus larges que l'aimant et ses « parties insensibles » où sont ménagées ces « conduits » s'avèrent plus « souples », plus « flexibles » : ces conduits ne forment pas des « files » aussi parallèles entre elles et « aussi déterminée & aussi fixe » que pour l'aimant ce qui ne donne pas au fer la propriété de prendre spontanément la direction des méridiens. Lors de l'aimantation du fer, les tourbillons de l'atmosphère de l'aimant se « jettent avec effort » dans les pores du métal et les disposent « suivant leur direction du Nord au Sud » ; ainsi peut se former une aiguille de fer aimantée qui à l'approche d'un aimant se comporte de la même manière que deux aimants juxtaposés. L'autre propriété consiste à augmenter la capacité d'attraction du fer :

quant on l'Aimante, les petits tourbillons de l'Atmosphère de l'Aiman beaucoup plus dense, doivent par l'action de leur ressort pénétrer dans l'Atmosphère du fer & dans ses pores où ils trouvent une matière

1 *Ibid.*, p. 13-14 : « je crois que cette matière [magnétique] pénètre moins l'Aiman & le fer que l'air & les autres Corps, & que c'est par là qu'on doit expliquer tous les Phénomènes de l'Aiman ».

2 Ainsi, la limaille de fer placée sur une « feuille de tole, une lame de fer ou d'acier » sous laquelle on passe un aimant demeure immobile, alors que placée sur du carton, une glace, ou sur un autre métal elle se met en mouvement : « la matière magnétique traverse donc plus difficilement le fer que tous les autres Corps », *ibid.*, p. 14. Pour ce mémoire de Le Monnier déjà évoqué, voir Fontenelle, *Sur l'aiman*, p. 14.

plus dilatée : la densité & l'élasticité du fer étant augmentées, la vertu d'attirer doit l'être aussi, puisque c'est dans cette seule densité que consiste la vertu attractive¹.

Par conséquent, « la densité de l'Atmosphère magnétique est [...] le principe de tous les Phénomènes de l'Aiman » (*ibid.*, p. 16) : plus précisément, quel rôle jouent les tourbillons dans le mécanisme à l'origine de tels « Phénomènes » ? Manifestement, l'hétérogénéité essentielle consiste en des sens opposés de rotations des petits tourbillons de deux atmosphères d'aimants et l'atmosphère la plus dense d'un aimant impose à l'autre de pivoter. Le phénomène fait appel à une différence de forces des tourbillons et à des chocs. Par cette différence de pression entre les atmosphères, la plus dense se répand et ses tourbillons imposent leurs sens de circulation. Cette expansion de l'éther se rencontre aussi dans l'aimantation du fer, soit que l'aimant lui fasse prendre la direction adéquate le long d'un méridien, soit qu'il lui augmente sa « vertu d'attirer » en modifiant sa densité d'éther. Dans ce dernier cas, les tourbillons dans l'atmosphère la plus dense sont plus comprimés et possèdent plus de forces, ils se répandent alors vers d'autres tourbillons moins comprimés et leur communiquent du mouvement donnant ainsi naissance à une atmosphère magnétique.

L'attraction fait appel à la notion d'homogénéité qui implique une circulation des tourbillons dans un même sens. Béraud propose l'analogie suivante : la pression subie par deux plaques de marbres posées l'une sur l'autre dans une pompe à vide vient de l'éther (et non de l'air) « dont la densité & conséquemment la force de compression est augmentée par la quantité de la même matière qui est chassée d'entre les deux superficies des marbres. C'est donc du ressort de l'Ether que dépend cet effet [l'attraction de l'aimant], c'est le ressort de la même matière qui pousse le fer contre l'Aiman, en cette façon » (*ibid.*) Selon Béraud l'attraction du fer et celle de deux aimants résulte du même mécanisme². Il faudrait donc envisager que : 1/ la matière de l'aimant se répand vers le fer lequel possède une atmosphère de densité plus faible ; 2/ que l'éther compris entre l'aimant et le fer puisse refluer afin de participer à la pression rapprochant les corps. Béraud n'explique pas la cause de ce reflux de matière qui semble une amorce aux mouvements des corps l'un vers l'autre, autrement dit, du « côté où la pression est moindre ». Ainsi, en supposant deux aimants identiques – d'atmosphères de même densité et donc des tourbillons de même « force » – et en présentant leurs pôles opposés, pour quelle raison la matière entre eux causerait-elle une telle dépression ?

Suivant manifestement les traces de Molières, Béraud va au-delà en conférant une structure de tourbillons à la matière magnétique, en spécifiant par le recours au sens de circulation et les forces des tourbillons ces analogies fluides homogènes/attractions et hétérogènes/répulsions, ou encore en mettant l'accent sur des différences de densité/élasticité à l'origine de tous les phénomènes magnétiques.

KERANFLECH, LA « VERTU MAGNETIQUE » COMME UN ORDRE PARTICULIER DE TOURBILLONS

Keranflech suppose que le « noyau de la terre » tient de la nature des métaux et des minéraux et qu'il possède alors comme eux une atmosphère interne qui s'étend au niveau de la croûte terrestre et dans l'air. La « pesanteur » de cette atmosphère ainsi que « l'hétérogénéité du liquide » environnant, à savoir les fluides ambiants qui compriment cette atmosphère, permettent de la contenir³.

Au sein d'une telle atmosphère, l'orientation rapide et régulière que prend l'aimant en quelque endroit du globe témoigne de la rapidité et de l'uniformité d'une circulation

1 Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 17-18.

2 *Ibid.*, « l'Aiman attire le fer par le même mécanisme qui joint deux Aimans ».

3 Keranflech, *L'hypothèse des petits Tourbillons*, p. 127.

abondante d'une matière magnétique d'un pôle à l'autre. Comment lever ce paradoxe que par un mouvement si abondant la matière subtile ne soit pas « embarrassée » dans son cours et qu'elle n'agisse que sur l'aimant et non sur d'autres corps ? Les petits tourbillons permettent de répondre. En effet, les interstices d'un fluide sont remplis par « un fluide subalterne tout hétérogène au premier », et « l'atmosphère du noyau terrestre est un fluide d'un ou plusieurs tourbillons subalternes de l'éther » :

si, par exemple, cette atmosphère balance avec le dixième ordre de l'éther, elle remplit seule tous les interstices du neuvième ordre, & fait ainsi un fluide subalterne hétérogène à tous les autres, continu, présent en tous les lieux, & enfin tellement indépendant des neuf autres ordres qu'il peut se mouvoir d'un ou d'autres sens, sans en informer aucun, pour ainsi dire, & sans qu'ils puissent sentir sa marche (*ibid.*, p. 128-130).

Dès lors, pour Keranflech la matière magnétique est « uniformément en tous lieux » et « si elle n'étoit de l'ordre des éléments d'aucun corps sensible, elle n'ébranleroit même pas l'aimant », autrement dit elle est d'un ordre qui correspond aussi à celui composant la matière de l'aimant (*ibid.*, p. 132-133)¹. Ainsi,

c'est le cours de l'atmosphère terrestre qui, pénétrant le fil de l'aimant & du fer, détermine les petites atmosphères qui environnent ces corps à prendre un pareil cours autour d'eux ; ce qui leur donne une attraction, une répulsion, une direction, des poles, &c. (*ibid.*, p. 138-139)

A l'air libre, la matière magnétique occupe les interstices de tourbillons d'un ordre différent ; dans l'aimant ou le fer, elle se voit contenue par « quelque ordre d'éther » qui « lui détermine des limites tout à la ronde » (*ibid.*, p. 139)². Comme pour le noyau terrestre, le cours du fluide en sortant d'un aimant ne peut pas poursuivre son chemin en ligne droite à cause de l'éther extérieur qui le fait « refluer » : la matière « ne peut donc que refluer à l'entour de l'aimant, rentrer par l'autre pôle &c. » (*ibid.*, p. 139-140). Keranflech passe ainsi de la mobilité permanente du fluide autour des pôles terrestres à celle autour de chaque corps possédant ces propriétés magnétiques. Dès qu'une circulation d'atmosphère se fait autour de l'aimant et du fer, elle perdure car « le cours général magnétique d'un pôle à l'autre la favorise, en quelque sens qu'elle se fasse » (*ibid.*, p. 144-145)³.

Pour Keranflech, « les poles de divers noms doivent s'attirer, parce qu'alors, par la conformité des directions des courans, ce qui sort de l'un de l'aimant entre dans l'autre. Ce qui favorise la compression du milieu extérieur, que ces atmosphères tiennent écarté, & qui par sa réaction fait concourir les deux aimants ». *A contrario*, les pôles de même nature se repoussent, à cause de l'opposition de direction des courants : « les deux atmosphères ne se mêlent point ; mais s'étant applaties l'une contre l'autre, elles se rétablissent brusquement, & cette réaction, plus forte que la compression du milieu extérieur, écarte les deux aimants » (*ibid.*, p. 140).

Les différents ordres des tourbillons expliquent pourquoi un corps est magnétique et l'autre non : en supposant que les atmosphères associées au fer et à l'aimant se composent de tourbillons du « neuvième ordre »

1 Pour la composition des corps terrestres pour Keranflech comme assemblages de tourbillons de certains ordres, voir Partie II, Chapitre III.

2 « Ainsi, une goutte d'eau écarte l'air, dont la réaction lui donne la figure ronde », *ibid.*

3 La circulation autour de l'aimant et du fer a « deux cours contraires, l'intérieur & l'extérieur » : le flux magnétique terrestre allant d'un pôle à l'autre s'accommode avec un des deux sens sans s'opposer à l'autre. Si ce cours extérieur à l'aimant est selon le flux terrestre, ce dernier « renforce » le premier et conséquemment renforce aussi l'intérieur ; un raisonnement semblable s'applique au cas où le flux d'un pôle à l'autre s'accorde avec le sens de circulation intérieur. Ceci vaut aussi lorsque l'aimant est situé obliquement au cours « général ».

cette atmosphère sera contenue dans les interstices du huitième ordre ; [...] elle ne se mêlera point par conséquent avec des atmosphères du huitième ou du septième ordre ; [...] elle ne s'applatira pas non plus contre elles [mais uniquement contre celle du neuvième ordre] ; mais [...] elle les traversera *incognito*, comme elle seroit elle-même traversée par une atmosphère du 12°. ou du 13°. ordre. D'où il s'ensuit que le fer & l'aimant ne peuvent attirer que l'aimant et le fer, & qu'ils ne doivent pas non plus repousser les corps qu'ils n'attirent point (*ibid.*, p. 140-141).

Un même solide peut posséder « des atmosphères de plusieurs ordres » indépendantes ; bien que plusieurs milieux peuvent composer l'atmosphère d'un aimant ou du fer, « un seul est homogène à l'atmosphère du noyau de la terre » et il peut se faire que « dans toutes les atmosphères des autres solides, nul milieu n'est de même ordre » que ce noyau, de tels solides n'ayant alors pas de vertu magnétique (*ibid.*, p. 142-143). Le fait que le noyau, l'aimant et le fer aient des propriétés magnétiques dérive d'une conformation originelle de la matière lui conférant une atmosphère d'un ordre particulier, et la communauté de nature physique de ces corps justifie la circulation et l'action sur eux seuls de tourbillons d'un ordre déterminé¹.

Le seul mécanisme détaillé par Keranflech concerne le changement de polarité qui affecte un morceau de fer aimanté lorsqu'il subit un choc. Un « coup » sur ce métal « rompt l'harmonie de cette circulation » de la matière magnétique. Il s'avère que « les voies » que cette matière prend dans le fer « ne sont [ni] si bien formées, ni si imperturbables que celles qu'elle a dans l'aimant » ; l'altération des pores et des conduits du métal est ainsi plus facile et s'opère selon Keranflech au niveau du « pôle qui reçoit la matière » magnétique qui circule d'une extrémité à l'autre du fer. L'éther ne rentre alors plus par le côté obstrué, cependant que la circulation de celui qui réside encore dans les pores du fer et qui tend à en sortir pour migrer vers le pôle d'entrée continue ; il se fait alors une « condensation » de la matière magnétique vers le pôle d'entrée et une « dilatation » de l'autre côté ; tout ceci « ne dure qu'un instant » et la condensation parvenue à un certain point, « aussitôt il y a une réaction & un reflux vers l'endroit dilaté » ; l'éther y rentre alors et, sans ce reflux, la matière condensée aurait fini par se créer une ouverture par le côté obstrué, « mais on ne lui en donne pas le tems : car il est plus facile sans comparaison de rentrer dans des pores tous prêts, que de se faire un nouveau chemin un peu difficile par le dehors [du fer], & qui se fait sans peine par le dedans à cause de la suite des pores ». Par conséquent, cet autre sens de circulation formé conduit à une autre polarité (*ibid.*, p. 149-150).

Keranflech ne reconduit pas le système de Molières qu'il critique, ni celui de Béraud². Contrairement à ces auteurs, il conserve une circulation d'un ordre spécifique d'éther. Le terme « homogénéité » qu'il utilise renvoie à une identité d'ordre de tourbillons. Le mécanisme d'attraction se trouve confronté aux mêmes difficultés que celles rencontrées chez ces prédécesseurs : pourquoi deux atmosphères aux tourbillons de même force n'en font qu'une et font se rapprocher des aimants ? Keranflech conçoit la répulsion par des circulations de sens contraires et donc par des chocs. Le mécanisme de changement de polarité du fer

1 Keranflech insiste sur le « rapport d'homogénéité » existant entre le fer et l'aimant et le noyau terrestre, *ibid.*, p. 151-152. Ce « rapport » tient vraisemblablement de la nature physique de ces corps : pour Keranflech les métaux et les minéraux se composent de petits tourbillons d'un certain ordre comprenant des matières solides, et ces tourbillons pourraient alors d'être du même ordre que ceux de la matière magnétique (voir Partie II, Chapitre III). Lors de son explication de la formation des métaux, Keranflech précise que tous les tourbillons ne sont pas chargés de « globules durs » et que certains conservent « des restes de circulation plus ou moins grands » ; ces tourbillons possèdent cependant « quelque affinité avec ceux qui y sont engagés [dans les solides]. Ils demeurent auprès d'eux, ils ne les quittent point, ils remplissent les pores de la masse, ils regorgent autour d'elles ; & leur homogénéité avec ses parties & entr'eux empêche qu'ils ne se dissipent au loin, & qu'ils ne se mêlent à d'autres choses. C'est en cela que consiste l'atmosphère d'un métal », *ibid.*, p. 114-115.

2 Keranflech n'évoque pas Béraud, mais note que Molières réfute la circulation d'une matière magnétique autour de l'aimant bien qu'il « fait enfiler » ses particules magnétiques par « une matière subtile à laquelle il est obligé de recourir pour leur donner des poles », et alors il « n'explique la vertu directrice de ces petits aimants [les particules magnétiques] qu'en montrant l'inutilité de leur invention, puisqu'il pouvoit adapter le cours de cette matière très-fine immédiatement à l'aimant principal », *ibid.*, p. 147-148.

repose sur des différences de pressions et des déséquilibres locaux de petits tourbillons : un modèle explicatif que Keranflech ne détaille pas pour les phénomènes d'attraction, de répulsion et d'aimantation.

CONCLUSION

Dans les différents mécanismes proposés, Molières et Keranflech conservent une circulation magnétique d'un pôle vers un autre, contrairement à Béraud. Pour tous ces auteurs, le mélange de liquides dits homogènes ou hétérogènes permet de penser ce qui se produit lors du rapprochement de deux aimants ou d'un aimant et d'un morceau de fer, autrement dit lorsque les atmosphères de ces corps se mélangent. Ces atmosphères et leurs densités jouent un rôle essentiel chez Béraud. Les petits tourbillons d'une atmosphère plus condensée possèdent davantage de force centrifuge et migrent vers un corps à l'atmosphère moins condensée : ceci ne contribue pas à rendre magnétiques certaines matières (le verre etc.) mais peut augmenter la densité d'éther d'autres (le fer) et ainsi les attirer. Des aimants se repoussent du fait d'une « hétérogénéité » consistant en des sens de circulations différents de leurs tourbillons avec des vitesses identiques ou non : l'éther le plus dense peut se répandre vers l'atmosphère de l'autre aimant et lui imposer de présenter ses tourbillons dans le sens adéquat. *A contrario*, l'« homogénéité » suppose des sens identiques (vitesses identiques ou non). L'attraction entre deux aimants ou du fer par un aimant doit manifestement impliquer une dépression entre ces deux corps pour que le milieu ambiant qui les comprime les rapproche suivant la maxime que les corps se déplacent vers l'endroit où ils sont le moins pressés ; Béraud évoque un reflux de l'éther entre ces corps, sans le justifier. Pour Keranflech, l'« homogénéité » renvoie à des petits tourbillons de même ordre, autrement dit de même force ; l'attraction s'avère sujette au même manque de détails explicatifs que chez Béraud. Pour Béraud, Keranflech et Molières, la répulsion s'entend comme un choc entre des matières de sens de circulations opposés – des tourbillons tournant en sens contraires pour Béraud, le choc de flux de sens opposés pour les deux autres – l'atmosphère la plus forte imposant son sens de circulation de la matière magnétique à l'autre corps. Chez Molières, l'« équilibre qui se rompt » semble gouverner le mécanisme d'attraction des aimants : un corps s'approche d'un autre car il n'est pas également comprimé de tous les côtés mais les causes de cette dépression entre eux demeurent non explicites et probablement faut-il les rechercher du côté des explications des attractions électriques pour lesquelles Molières fournit davantage de détails.

PHENOMENES ELECTRIQUES

La partie sur l'électricité des *Leçons* de Molières s'attache à expliquer les « Phenomenes merveilleux de l'électricité qui ont été découverts de notre temps »¹ et l'enjeu est alors d'interpréter des expériences de Dufay à l'aide des petits tourbillons ; ceci devrait souligner la pertinence d'un système capable d'expliquer les découvertes les plus récentes. Dans ses travaux essentiellement expérimentaux, Dufay définit la « vertu électrique » comme la capacité « qu'ont les corps électriques d'attirer, mais aussi celle de repousser les corps qu'ils ont attirés »². Molières rejette « la supposition d'un principe d'*attraction* & de *répulsion*

1 Molières [1737], table des matières non paginée.

2 Dufay, *Quatrième Mémoire sur l'Electricité. De l'Attraction & Répulsion des Corps Electriques*, MARS 1733 (1735), p. 457. Dans son *Premier Mémoire sur l'Electricité. Histoire de l'Electricité*, MARS 1733 (1735), p. 23, Dufay écrit que « l'Electricité est une propriété commune à plusieurs matières, & qui consiste à attirer les corps légers de toute espece placés à une certaine distance du corps électrique, apres qu'il a reçu une préparation qui n'est autre que de le frotter avec du linge, du papier, du drap, la main, &c. »

indépendante de l'impulsion »¹ et, pour sa part, il s'appuie sur l'équilibre et la rupture d'équilibre de petits tourbillons. Béraud et Keranflech proposent aussi des théories électriques, celle du premier recevant le prix de l'Académie royale des belles-lettres, sciences et arts de Bordeaux de 1748 et participant au prix proposé par l'Académie impériale des sciences de Saint-Petersbourg en 1755. Béraud et Keranflech développent un mécanisme reposant sur les petits tourbillons, et suivent en ceci le travail initié par Molières, en même temps que leurs travaux témoignent d'une lecture approfondie de ceux de Jean Antoine Nollet et de Jean Jallabert ; il s'agit, comme le fit Molières avec Dufay dans les années 1730, d'inclure des travaux de la décennie 1740 dans le système des petits tourbillons.

MOLIERES ET LES EXPERIENCES ELECTRIQUES DE DUFAY

Molières entend expliquer un certain nombre de phénomènes électriques tirés de mémoires de Dufay publiés dans les volumes des années 1733 et 1734 de l'*Histoire* de l'Académie des sciences de Paris². Dufay établit expérimentalement « quelques-unes des principales propriétés de l'électricité » lesquelles ne donnent pas « la connoissance des causes physiques & primordiales de l'électricité »³. Molières note que par frottement avec la « main », « un morceau d'étoffe de laine ou de soye » etc. d'un « corps électrique » (« un bâton de souffre », un « tuyau de verre ») il se crée une « *Vertu électrique* » qui approche des « petites feuilles d'or », des « pailles » etc. puis les éloigne ; il retient ensuite des travaux de Dufay six propriétés dont il explique la plupart à l'aide des petits tourbillons⁴.

Autour d'un corps se crée « une espece atmosphere ou de brouillard que l'on sent à l'approche du visage » : une atmosphère sans circulation de matières, car les feuilles d'or suspendues demeurent immobiles, et composée de couches concentriques plus denses au voisinage de ce corps puisqu'elle produit une « impression » plus forte lorsqu'on approche le visage de ce corps⁵. Puisque l'atmosphère est « lumineuse dans l'obscurité » et prend « feu lorsqu'on en approche le doigt », elle se compose de « molecules d'huiles » sorties des pores des corps par le frottement et se répandant dans ceux de l'air, car la « vertu de s'enflammer » provient de telles particules. La formation de cette atmosphère suit alors la genèse de la lumière et du feu. Tout d'abord, les tourbillons de ces « molecules d'huiles » occupent les pores des corps, ils sont « plus petits que ceux dont l'huile ordinaire est composée » et équilibrent d'autres de l'éther « plus petits que ceux du premier élément ». Ensuite, par le

1 Molières [1737], Leçon XIV, *Remarque sur l'Electricité*, p. 438.

2 Pour l'évocation de ces mémoires, voir Molières [1737], Leçon XIV, *Remarque sur l'Electricité*, p. 425. Dans ces deux années, Dufay publie six mémoires sur l'électricité dans les volumes de l'Académie des sciences de Paris. Pour un examen de ses travaux, voir Heilbron, *Electricity in the 17th & 18th Centuries*, p. 250-260.

3 Dufay, *Sixième Mémoire sur l'Electricité*, MARS 1734 (1736), p. 523.

4 Molières [1737], Leçon XIV, *Remarque sur l'Electricité*, p. 424. Molières donne six faits expérimentaux : 1/ exceptés les métaux, tous les corps subissant ce frottement acquièrent plus ou moins cette « vertu », certains devant au préalable être chauffés, et l'humidité sur ces corps empêche l'électrisation ; 2/ une lumière se répand autour des corps électriques et, à l'approche d'un doigt, « une flamme vive & piquante » jaillie provoquant douleur et engourdissement ; 3/ un corps électrisé rapproché d'un autre le rend électrique par « communication » ; 4/ les corps vivants acquièrent cette « vertu » électrique par communication ; 5/ en considérant une boule en verre électrisée, des feuilles d'or suspendues se tiennent le long de la verticale passant par son centre ; 6/ en déplaçant cette boule de verre, les feuilles suspendues suivent le mouvement. Molières invite le lecteur à consulter « plusieurs autres [observations] rapportées dans les mémoires de M. du Fay ». *Ibid.*, p. 425-429. Dufay, *Premier Mémoire sur l'Electricité*, p. 23-36 rapporte l'histoire de certaines de ces découvertes. Sans être ici exhaustif, remarquons que le premier et le troisième points évoqués par Molières sont abordés dans Dufay, *Second Mémoire sur l'Electricité*, MARS 1733 (1735), p. 73-84 et Dufay, *Cinquième Mémoire sur l'Electricité*, MARS 1734 (1736), p. 341-361 ; le deuxième, le troisième et le quatrième font aussi l'objet de Dufay, *Troisième Mémoire sur l'Electricité*, MARS 1733 (1735), p. 233-254 qui s'attache aux corps les plus attirés par d'autres électrisés et à ceux qui transmettent et empêchent le passage de l'électricité ; le cinquième et sixième sont consignés dans Dufay, *Quatrième Mémoire sur l'Electricité*, p. 457-476, bien qu'en utilisant un tube et non une boule en verre ; le premier mémoire de Dufay évoque les expériences avec cette boule ; concernant « la Lumière des corps électriques », voir Dufay, *Sixième Mémoire*, p. 503-526. Molières n'explique pas le quatrième de ses points.

5 Molières [1737], Leçon XIV, *Remarque sur l'Electricité*, p. 429-430.

frottement ces tourbillons d'huile acquièrent un « nouveau mouvement » : ils commencent alors à « rompre l'équilibre » et ils s'agrandissent de plus en plus en sortant des pores des corps et en passant dans ceux de l'air ; ils acquièrent ainsi la grandeur ordinaire aux tourbillons d'huile « tout près de rompre l'équilibre avec ceux du premier élément [...] quelques-uns en petit nombre, rompant en effet cet équilibre exciteront cette foible lumiere que l'on voit dans l'obscurité » (*ibid.*, p. 431-432)¹.

Lorsque ces molécules d'huiles sont proches de l'inflammation, en approchant de cette atmosphère un doigt sur lequel réside des « molécules plus grossieres » à cause d'une « insensible transpiration », « ces deux matieres extrêmement fluides contenuës dans les pores de l'air venant à se mêler, y fermentent, & [...] en conséquence elles prennent feu vers la superficie du corps frotté, où la matiere électrique est en plus grande abondance » ; cette « flâme » se répand d'abord vers le doigt d'où sortent les corpuscules causant la « fermentation » puis dans toute l'atmosphère où elle consume toute l'huile. Par ailleurs, si les métaux n'acquièrent pas d'électricité par frottement, ceci résulte du grand nombre de molécules d'huile qu'ils contiennent, tout le mouvement communiqué « se distribuant par égale part à toutes ces molécules » et « il n'en reste pas assez à chacune pour rompre l'équilibre » ; ainsi s'explique aussi la nécessité de chauffer certains corps avant de les frotter pour les rendre électrique, la chaleur faisant « s'étendre » et se « raréfier » les molécules d'huile, les frottements achevant de les « développer entierement » (*ibid.*, p. 434-436)². L'équilibre et sa rupture sont ainsi la clef pour expliquer l'électrisation par frottement, la production d'une lumière et les décharges électriques.

Lorsque l'atmosphère d'un corps électrique tel que le verre frotté se « répand » sur la superficie d'un métal, ce dernier devient à son tour électrique par « communication » : les molécules d'huiles contenues dans ses pores « doivent aussi-tôt s'étendre & passer dans les pores de l'air, communiquer leurs mouvemens à celles qui les suivent, & former autour de ce corps une atmosphere semblable à celle qui est autour du tuyau de verre » (*ibid.*, p. 436-437). Si Molières ne détaille par les raisons d'une telle mise en mouvement, elle résulte manifestement d'une différence de forces centrifuges entre les molécules du premier corps électrique (de tailles plus grandes donc plus faibles) et celles du métal (plus petites donc plus « fortes ») : un procédé à l'œuvre dans l'explication de phénomènes chimiques (voir Partie II, Chapitre III). En somme, les tourbillons ne sont pas équilibrés et les « molécules » dans le métal s'agrandissent jusqu'à l'obtention d'un équilibre de tourbillons autour des deux corps : Molières écrit que la matière électrisée par « communication » acquiert une atmosphère « semblable » à celle régnant autour du verre.

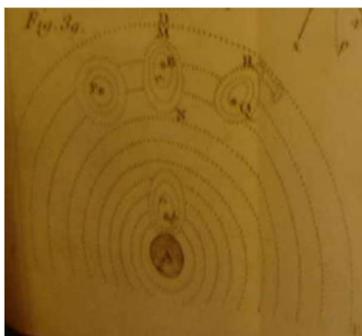


Fig. 37 : Molières [1737], Pl. V, fig. 39

1 Sur le mécanisme de production de la lumière et du feu, voir Partie II, Chapitre III.
2 Sur la fermentation et le rôle des petits tourbillons, voir Partie II, Chapitre III.

Molières détaille ensuite le mécanisme d'attraction-répulsion de petites feuilles d'or placées au voisinage d'un globe de verre *A* frotté (Fig. 37). L'atmosphère de *A* comprend des « couches [...] d'autant plus denses, qu'elles sont plus voisines du globe ». En plaçant une feuille d'or *B* au sein de cette atmosphère, les molécules de cette dernière produisent « autour de ce petit corps une atmosphère *MN* » dont les différentes couches « se formeront successivement » et ce de manière inégale : « elles ne pourront être d'abord concentriques, mais plus étendues du côté *N*, dont la matière électrique leur vient en plus grande abondance [car plus proches de *A*], que du côté *M*, où les couches électriques du globe *A* sont plus rares [car plus éloignés de *A*] ». *B* se voit ainsi entouré par une enveloppe ellipsoïdale délimitée par *MN* et en occupe le « foyer » le plus éloigné de *A*. Le « milieu élastique qui environne » *MN* tend « sans cesse » à donner une figure ronde à ces couches et ainsi « à pousser » *B* vers l'autre foyer plus proche de *A*, Molières renvoyant à la « p. 372 » de la *Leçon XIV* pour justifier ce phénomène. Dans cette « p. 372 », il explique que le mouvement d'un corps dépend d'un « équilibre [qui] se rompt », le corps se déplaçant vers où il est le moins pressé. Manifestement, l'électrisation de *B* est proportionnée à la densité des couches du verre électrisé, d'où ce surcroît de « matière électrique » au niveau de *N* en comparaison de *M* ; *B* se loge donc vers *M* lieu de moindre densité ; si cette densité augmente, le corps commence alors à se mouvoir. En effet, Molières écrit que « tant que les couches de son atmosphère *MN* continuèrent à se former », le corps *B* migre vers *O* : autrement dit, l'enveloppe *MN* subit l'action de la matière extérieure contribuant à une répartition plus homogène de l'atmosphère enveloppant *B* ; la matière électrisée de *B* augmenterait donc en densité au niveau de *M*, ce qui presserait alors *B* vers *O*. *B* reçoit continuellement vers *A* des « secousses » et son mouvement s'accélère, selon Molières, « avec une plus grande vitesse que n'est celle que le milieu environnant peut lui communiquer » : il parvient alors en *b* au-delà du foyer de *MN* le plus proche de *A*. A ce stade, le processus s'inverse, et « le milieu élastique environnant le [corps *B*] repoussera de *b* vers *O* [...] jusqu'à ce que ces couches [de l'atmosphère de *MN*] soient devenues concentriques, comme on le voit en *P*, ou plutôt jusqu'à ce qu'il y ait équilibre entre la force élastique du milieu environnant qui le repousse [...] & le poids de ce corps qui tend à le mouvoir vers *A* », ce petit corps tenant alors en suspension au-dessus de *A*. Le phénomène d'attraction-répulsion s'interrompt lorsque les couches deviennent « concentriques », soit lorsque le corps *B* après une circulation d'un foyer à l'autre se trouve au centre de *MN* et subit d'égales pressions, ce qui signifie que le système corps-globe se trouve dans un état d'équilibre (*ibid.*, p. 438-441).

En approchant un doigt *R* vers une feuille d'or, l'atmosphère de cette dernière et de *R* se mêlent, les couches entourant la feuille trouvent, selon Molières, moins de résistance à s'étendre vers *R* que vers *A* « d'où il suit que le fluide environnant, qui tend à les rendre sphériques & à pousser le petit corps à leur centre commun [...] fera mouvoir ce petit corps vers le doigt *R* » : *R* « absorbe » immédiatement « la matière qui forme cette petite atmosphère » et la feuille tombe alors sous son propre poids vers *A*, où elle acquiert une nouvelle atmosphère qui la fait remonter vers *R* où elle perd à nouveau son atmosphère. Ainsi l'atmosphère migrerait vers *R* là où elle trouverait « moins de résistance », c'est-à-dire qu'il existerait une différence de « forces » entre elle et celle des tourbillons au niveau du doigt ; l'éther environnant rassemblerait ensuite ces deux corps par la pression qu'il exerce (*ibid.*, p. 442-443)¹. Par ailleurs, Molières évoque les électricités « vitrée » et « résineuse », ainsi dénommées par Dufay, et explicite l'attraction entre deux corps possédant chacune de ces électricités : un bâton en verre, frotté, attire des morceaux d'ambre mais ne les repousse

1 En approchant un doigt d'un corps électrisé, ce qui provoque une inflammation, Molières écrit que sur ce doigt réside des « molécules plus grossières » et, ainsi, probablement transportées par des tourbillons de moindre forces.

pas car il ne se forme pas autour d'eux une atmosphère assez grande pour les soutenir en l'air suivant le mécanisme expliqué pour les feuilles d'or (*ibid.*, p. 442-446)¹.

Le mécanisme du phénomène d'attraction-répulsion et celui de l'électrisation par « communication » résultent donc chez Molières d'un jeu de rapports de forces de couches d'atmosphères et d'une tendance à retrouver un état d'équilibre.

BERAUD ET KERANFLECH :
AUTOUR DE MOLIERES, NOLLET ET JALLABERT

Le mécanisme de Béraud

L'explication de Béraud de la nature de l'électricité dans la *Dissertation* de 1748 apparaît identique à celle figurant dans sa *Theoria Electricitatis* qui se voit gratifiée d'un accessit au prix de l'Académie Saint-Pétersbourg de 1755².

Comme déjà évoqué, Béraud ne différencie pas les matières magnétique et électrique qu'il considère composées des mêmes petits tourbillons. La nature de ces matières entraîne des « modifications » de la répartition de l'éther composant l'atmosphère de corps, ceci expliquant alors des phénomènes spécifiques. Ainsi, concernant l'électricité,

si le Corps solide par la configuration & la multitude de ses petits pores, renferme plus de matiere étherée que l'air, à volume égal, on voit bien qu'il en doit résulter un effet tout contraire [à celui des corps magnétiques] ; c'est-à-dire, que la matiere étherée, soit celle qui est renfermée dans ce Corps, soit celle qui l'entoure, occupant un plus grand espace que dans son état naturel, ses petits tourbillons doivent s'étendre, se dilater & perdre conséquemment de leur force élastique : Ainsi je puis concevoir ce Corps solide environné d'une Atmosphere de matiere étherée, dont les couches en s'éloignant vont toujours en augmentant de densité, & par conséquent de force élastique³.

Un « Corps électrique » contient plus d'éther qu'un pareil volume d'air à cause de sa structure. Dans ce « plus grand espace », les tourbillons subissent moins de compression d'où leur plus petite densité. En effet, cette dernière correspond à la quantité d'éther comprise sous un volume d'éther donné, et Béraud compare cette quantité dans ce corps électrique à celle dans l'air : pour un même volume les tourbillons dans le corps sont moins resserrés que dans ceux de l'air d'où cette plus faible densité. Ainsi, « le Corps électrique est entouré d'une Atmosphere de [...] matiere [éthérée], mais plus dilatée que dans son état naturel » (*ibid.*), et « les couches de cette Atmosphère deviennent toujours plus denses à mesure qu'elles s'éloignent du corps électrique » (*ibid.*, p. 23).

1 Dufay constate qu'une feuille d'or électrisée par un tube en verre frotté avec lequel elle entre en contact est repoussée et s'élève en l'air : en approchant un morceau d'ambre électrisé, la feuille est attirée par ce dernier, mais en approchant un cristal de roche ou un autre verre électrisé, la feuille est repoussée. Selon Dufay les corps électrisés attirent ceux qui ne le sont pas et les repoussent une fois qu'ils les ont électrisés, mais les expériences ci-dessus lui font aussi « penser qu'il y avoit peut-être deux genres d'électricité différents » ; « voilà donc [...] deux électricités d'une nature toute différente, sçavoir, celle des corps transparents & solides comme le verre, le cristal, &c. [l'électricité dite vitrée] & celle des corps bitumeux ou résineux, comme l'ambre, la gomme copal, la cire d'Espagne, &c. [l'électricité résineuse] Les uns & les autres repoussent les corps qui ont contracté une électricité de même nature que la leur, & ils attirent, au contraire, ceux dont l'électricité est d'une nature différente de la leur ». Dufay, *Quatrième mémoire sur l'électricité*, p. 465-467.

2 Béraud, *Theoria Electricitatis*, dans *Dissertationes selectae Jo. Alberti Euleri, Paulli Frisii, et Laurentii Beraud, quae ad Imperialem Scientiarum Petropolitanam Academiam An. 1755. missæ sunt, cum Electricitatis caussa, & theoria, præmio proposito, quæreretur*, Petropoli & Lucae, Vincentium Junctinium, 1757, p. 135-204. Le Febvre, *Eloge historique du père Béraud*, Lyon, Aimé de la Roche, 1780, p. 32 rapporte que la victoire « lui [Béraud] échappa à Pétersbourg, parce qu'il arriva trop tard pour combattre ; mais sa dissertation latine qui renfermoit une théorie lumineuse de l'électricité, fut accueillie par les savans de la Russie comme elle l'auroit été chez nous. L'Académie en ordonna l'impression ; Pise & Milan s'empresserent d'en enrichir l'Italie, & il s'en fit une édition dans chacune de ces villes ». La théorie développée par Béraud dans ce mémoire reproduit celle de 1748, nous n'analysons donc que ce dernier mémoire.

3 Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 6.

Contrairement aux aimants, pour produire leurs effets les corps électriques nécessitent un frottement : ils comprennent des « parties insensibles » assez « roides » pour « ébranler » l'éther et lui communiquer un « mouvement de vibration » ; la « vertu électrique » s'identifie alors à la matière subtile agitée par les « secousses » et le « trémoussement » des parties rigides. La « force électrique » de différentes matières dépend notamment de leur « roideur » (*ibid.*, p. 22-23)¹.

En frottant un globe de verre mis en rotation autour d'un axe, ses « parties » ébranlées communiquent leur « agitation » aux tourbillons de l'éther et

ces petits tourbillons soit par le mouvement de rotation du globe, soit par les secousses qu'ils ont reçu des molécules de verre, acquièrent un nouveau degré de vitesse, & par conséquent une nouvelle force pour se dilater. Ces tourbillons intérieurs s'agrandissent donc ; mais ils ne peuvent s'agrandir dans les pores du verre sans qu'une partie ne s'étende au dehors par un mouvement d'expansion qui doit nécessairement comprimer les tourbillons extérieurs & les pousser de l'un à l'autre vers l'Ether environnant : c'est un fluide mis dans un vase qui par l'action du feu se dilate, s'étend de façon que ce vase n'est plus assez grand pour le tout contenir. Les filets de tourbillons comprimés s'étendent en [se] dirigeant vers l'Ether extérieur, parce que les tourbillons intérieurs qui par leur dilatation causent cette compression en s'échappant des pores du verre, font effort pour se dilater en tout sens, à peu près comme un fluide comprimé dans un vase ; si on lui ouvre une issue, il jaillit aussi-tôt par des rayons qui s'écartent les uns des autres. Cette expansion des filets électriques ne peut pas se faire sans qu'il y ait un choc contre l'Ether environnant, qui étant plus dense & ayant par-là plus de force de ressort doit réagir contre ces filets, & les repousser vers le globe. Voilà donc deux forces opposées, l'une qui pousse les tourbillons du globe à la circonférence de l'Atmosphère, l'autre qui les repousse de la circonférence au globe ; c'est un flux & un reflux d'une matière homogène : un flux causé par la dilatation des tourbillons intérieurs, un reflux produit par la densité de l'Ether environnant : & voilà la cause de cette impression subite que l'on ressent sur la main, sur le visage quand on les approche d'un Tube de verre ou d'un globe électrisé (*ibid.*, p. 23-24).

Béraud écrit ainsi proposer un

mécanisme de l'électricité qui me paroît simple, & je m'y suis attaché d'autant plus volontiers qu'il n'est point opposé au système de la matière effluente & affluente de Monsieur l'Abbé Nollet, qui a si bien écrit sur cette matière, & dont je fais gloire ici de profiter des vûës & des expériences : il s'écarte peu aussi de l'hypothèse que fit soutenir l'année passée à Genève Monsieur Jallabert, professeur de Mathématique & de Physique Experimentale (*ibid.*, p. 24)².

En effet, Béraud évoque à plusieurs reprises des expériences figurant chez Nollet ; il estime aussi que par ce « un flux & un reflux d'une matière homogène » et l'évocation des « filets » électriques son système s'avère conciliable avec celui de la « matière effluente &

-
- 1 L'électricité se manifeste plus dans le « verre », les « matières vitrifiées », les « pierres transparentes » : d'une part parce que ces solides contiennent beaucoup d'éther puisque leurs transparences résultent de cette matière, d'autre part parce que leurs parties internes sont cassantes, friables, « roides ». Ainsi le souffre s'avère moins électrique que le verre puisque ses « molécules sont moins roides & plus liées ensemble ». Si les métaux aussi contiennent beaucoup d'éther, ils ne s'électrisent pas par frottements : leur « ductilité » montre qu'ils se composent de parties « souples, flexibles, liées ensemble » et donc peu propres à recevoir le « trémoussement » nécessairement à la mise en vibration de l'éther. Aussi n'acquièrent-ils l'électricité que par « communication » : l'éther d'un corps déjà électrisé vient directement donner le mouvement nécessaire à celui dans le métal. *Ibid.*
 - 2 Béraud cite l'« Essay sur l'Electricité des corps, 1747 » pour Nollet et « *Theses de Electricitate Geneva, 1749* » concernant Jallabert. Béraud fait ici référence à Nollet, *Essai sur l'Electricité des Corps*, Paris, Freres Guerin, 1746, au contenu théorique identique à Nollet, *Conjectures sur les causes de l'Electricité des Corps*, MARS 1745 (1749), p. 107-151 ; « l'hypothèse que fit soutenir » suggère une référence à la thèse défendue par Louis Necker, *Theses Physicæ de Electricitate, quas, favente Deo, sub præsidio D. D. Joh. Jallabert, Barrillot & Filii, Genevæ, 1747*. On trouve notamment dans ce travail une explication de l'attraction et la répulsion proche de celle exposée dans Jallabert, *Experiences sur l'Electricité, avec quelques conjectures sur la cause de ses effets*, Genève, Barrillot & Fils, 1748.

affluente » de Nollet¹. Par ailleurs, le mécanisme ici proposé paraît proche de celui de Jallabert².

Selon Béraud les attractions et les répulsions de petites feuilles métalliques résultent chacune d'« une vraie impulsion » qui dépend du « mouvement réciproque » de l'éther qu'il a établi. Tout d'abord, Béraud juge « probable » que les tourbillons dans les métaux soient moins « serrés » que dans le verre, les métaux possédant des pores plus « larges » où l'éther a un mouvement plus « libre ». Par conséquent, les tourbillons émanant d'un verre frotté pénètrent « plus aisément » les métaux que le verre. Sortant du verre frotté, ils entrent dans ces métaux et ces tourbillons « plus forts » communiquent de leur mouvement à ceux que les feuilles renferment : « ainsi affoiblis [les tourbillons des filets] ils cèdent aisément au ressort de l'Ether qui les repousse, repoussés enfin ils entraînent avec eux les fragmens de feuille d'or qu'ils enveloppent », ces métaux s'avérant « trop légers » pour résister par leur poids à la pression de l'éther dense qui agit sur leurs parties solides ainsi que sur les tourbillons qu'ils renferment³. Une fois les feuilles arrivées à proximité du tube de verre, de nouveaux filets « qui n'ont point encore perdu de leur force » émanent de ce tube et les repoussent, puis s'affaiblissent à leur tour par la communication de leur mouvement et ils subissent alors la force du fluide environnant plus dense. Ce « mouvement alternatif d'impulsion & de répulsion » dure tant que les parties solides du verre conservent des vibrations causant la dilation de ses tourbillons intérieurs⁴.

En approchant un doigt, soit « un corps non électrique », au voisinage d'une feuille suspendue, « elle s'y porte avec rapidité, parce qu'elle suit le courant des filets électriques qui trouvent moins de résistance dans les pores du doigt que dans les pores de l'air, où est renfermé l'Ether environnant ». Ces filets perdent ensuite leur « force » par « la communication de leur mouvement », la feuille tombe alors vers le verre, puis réitère son ascension en se portant vers le doigt⁵.

Par ailleurs, en approchant d'une petite feuille suspendue par l'action d'un verre frotté un autre tube en verre nouvellement frotté, le métal s'éloigne car « les filets électriques qui sortent des pores de ce second Tube tout récemment électrisé ont bien plus de force que ceux qui s'échappent des pores du premier Tube, dont le mouvement des parties insensibles s'est déjà affoibli ». En présentant à la place du second tube « un bâton de cire d'Espagne ou une boule de soufre », la feuille s'en approche car « les émanations électriques de ces corps ont

1 Nollet, *Conjectures sur les causes de l'Electricité des Corps*, p. 124-137 pour les expériences justifiant la double circulation d'une matière autour d'un corps électrisé. La matière électrique sort des corps frottés sous forme de « bouquets » ou « aigrettes » uniquement par un certain nombre de pores tandis « qu'il y a un grand nombre de pores par lesquels la matière électrique ne sort point », mais par ceux-ci « il entre une matière qui vient ou de l'atmosphère, ou des corps solides & autres qui sont aux environs du corps électrisé », *ibid.*, p. 135-136. Sur ces expressions « matière effluente », « matière affluente », *ibid.*, p. 139. Voir aussi Nollet, *Essai sur l'Electricité des Corps*, p. 75-89 et p. 143-146 pour les expériences dévoilant l'existence d'un fluide, et p. 148-157 pour l'explication des attractions et répulsions par ces « deux courants de matière [qui] se meuvent en sens contraire » simultanément, selon des « rayons divergens » (pour la matière « effluente » du corps électrisé) et selon des « lignes convergentes » (pour la matière « affluente »). Pour un résumé du mécanisme proposé par Nollet, voir notamment Heilbron, *Electricity in the 17th & 18th Centuries*, p. 279-289 ; Isaac Benguigui, *Théories électriques du XVIII^e siècle. Correspondance Nollet-Jallabert*, Georg, Genève, 1984, p. 13-19.

2 Nous revenons sur ces deux savants à la fin de cette section sur l'électricité.

3 Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 24-25.

4 *Ibid.*, p. 25. Nollet précise bien que le corps subit en premier lieu une attraction et seulement après coup une répulsion, ceci résultant du caractère divergent des « rayons effluens », beaucoup plus rares et plus rapides que les autres : ce mobile se voit d'abord porté vers le tube « par la matière affluente toujours supérieure à son antagoniste », tant que ce corps possède un petit volume ou que sa « figure » le fasse échapper à « l'impulsion contraire des rayons divergens », Nollet, *Conjectures sur les causes de l'Electricité des Corps*, p. 140-141. Sur ces différences de vitesses et quantités de matière entrante et sortante voir aussi p. 136-137 et Nollet, *Essai sur l'Electricité des Corps*, p. 89. En approchant un tube de verre frotté de feuilles de métal, Béraud écrit que « ces corps petits corps sont aussi-tôt attirés vers le Tube & ensuite repoussés », *Dissertation sur le rapport*, p. 24. La densité croissante des couches de matière éthérée en s'éloignant du tube peut alors expliquer que l'attraction se produise en premier, la répulsion ensuite.

5 Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 25.

bien moins de force que celles que fournit le Tube de verre ». Ainsi, pour expliquer ces mouvements d'attractions-répulsions « on n'est pas obligé d'admettre avec Mr. du Fay, deux sortes d'électricité, l'une vitrée [celle du verre] & l'autre résineuse [la cire ou le soufre] » : pour Béraud, « la feuille d'or ou tout autre corps léger doit obéir à une plus grande force ». Ces rapports de forces entre matières de deux « atmosphères » et ce rejet des deux électricités de Dufay se retrouvent chez Nollet et Jallabert¹.

Le mécanisme des petits tourbillons permet aussi de rendre compte des variations de la « vertu attractive » en fonction du climat. Par temps humide, « les parties les plus subtiles de l'eau » répandues sur la surface de la boule en verre « embarrassent » les pores et « affoiblissent le ressort de ses [l'éther] parties élastiques » ; les vapeurs humides de l'air jouent le même rôle. De la même manière, pendant l'été, puisque l'air est « raréfié » l'éther trouve de plus grands espaces entre ses pores, perd de sa densité et les « filets » électriques subissent moins de compression. Ainsi, si la densité ou la compression de l'éther diminue, l'électricité aussi. *A contrario*, dans un temps sec et froid l'air moins chargé de vapeurs est plus dense, l'éther possède alors plus de « ressort » et les « filets » plus de force de compression².

Concernant l'électrisation par « communication », les corps non électriques par « eux-mêmes », autrement dit non électriques par le frottement tels que les métaux, sont ceux dont « les parties insensibles ne sont point assez élastiques pour être ébranlées par le frottement ». Mais à l'approche d'un verre frotté, les « filets » des tourbillons s'insinuent « aisément » dans les pores de ces métaux assez « larges » et communiquent à leurs tourbillons « ce mouvement d'impulsion & de compression, en quoi consiste l'électricité ». Les « filets » issus du verre compriment ceux dans un métal, lesquels à leur tour se dilatent et se voient comprimés par le « ressort » de l'éther ambiant. De tels mouvements peuvent s'avérer violents, notamment parce que les tourbillons « comprimés » ne peuvent pas se dilater dans les pores « resserrés » des métaux et « ils doivent donc s'échapper avec violence par les issues libres qu'ils rencontrent & s'élancer au dehors en divergeant » : d'où ces « aigrettes d'une lumière très-vive » sortant d'une barre en fer³. Ce type d'électrisation ne se communique pas à travers les « résines », les « gommes » etc. comme le montre l'expérience car, contrairement aux métaux, ces matières possèdent des pores plus « serrés » donc moins « spatieux » pour l'éther, et les « filets électriques » les pénètrent ainsi moins bien et communiquent moins leurs mouvements aux tourbillons compris dans ces pores⁴. De manière générale, ces « filets » pénètrent plus facilement les corps qui ne s'électrisent que par communication – les métaux, par exemple – plutôt que ceux qui s'électrisent par frottements ; bien que ces derniers contiennent plus d'éther que les premiers car ils sont moins denses, il s'avère cependant « probable » que leurs

1 *Ibid.*, p. 25-26. Voir Nollet, *Essai sur l'Electricité des Corps*, p. 154-157 et p. 117-119, Nollet, *Conjectures sur les causes de l'Electricité des Corps*, p. 145-146 et Jallabert, *Expériences sur l'Electricité*, p. 163-168 pour le rejet des deux électricités de Dufay.

2 Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 27-29. Pour des observations expérimentales sur la « vertu électrique » liés aux temps secs et humides, voir Nollet, *Essai sur l'Electricité des Corps*, p. 135-136.

3 Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 27-29. Des faits expérimentaux justifient que l'électrisation par « communication » d'un corps métallique ne diffère pas de celle issue du frottement du verre. Ainsi, en mettant sur une barre en fer électrisée de la poussière de bois, elle est dispersée et « voilà l'éruption des filets électriques » ; en tenant cette poussière entre les doigts elle s'approche du fer « voilà la répulsion & l'effet des tourbillons renfermés dans les doigts ». Si un homme électrisé tient dans une main un carton supportant des feuilles d'or et qu'on approche sous cette main de semblables feuilles, tandis que ces dernières seront attirées les autres seront repoussées. Ainsi « il y a [...] dans l'électricité qui s'acquiert par communication, éruption du côté du corps électrisé & répulsion du côté de l'Ether environnant, cette espèce d'électricité doit donc produire les mêmes effets que celle qui est excitée par le frottement ». Ces expériences figurent chez Nollet, *Essai sur l'Electricité des Corps*, p. 75-81 et servent chez ce dernier à justifier l'existence de mouvements « effluents » et « affluents » simultanés autour des corps électriques.

4 Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 28. Des feuilles placées dans un récipient bouché par une plaque de résine, de cire etc. ne sont pas attirées par un bâton de verre placé au-dessus de la plaque, ce qui *a contrario* arrive pour une plaque métallique ou en bois. Voir Nollet, *Essai sur l'Electricité des Corps*, p. 107-116 ; l'expérience montre que l'électricité pénètre et sort plus facilement de certains corps (fer etc.) que d'autres (résines etc.)

pores et canaux soient plus « serrés » empêchant ainsi l'écoulement et la communication des « filets »¹. Il s'ensuit que pour électriser un homme il faut qu'il repose sur « des matières résineuses » ou qu'il soit suspendu à des cordes de soie qui reçoivent peu « l'impulsion des tourbillons électriques » alors que s'il est debout sur le sol l'impulsion se répand sur les tourbillons de son corps et sur ceux du plancher².

Selon Béraud,

la matière électrique ou la matière éthérée n'est pas le feu ; mais elle en est le principe le plus actif, elle en est l'ame & la cause immédiate de l'inflammation. Le P. Lozeran du Fech, de la Compagnie de Jesus, l'a parfaitement bien prouvé dans sa Dissertation sur la Propagation du Feu. Selon cet Auteur, le feu n'est pas un Element ; mais un mixte composé de sels, d'huiles, d'air, de matière éthérée. Ce système est simple, conforme à l'expérience & sur-tout il s'accorde parfaitement avec les Phénomènes électriques³.

Lorsqu'un morceau de fer est électrisé, les tourbillons dans ses pores comprimés s'élancent avec force vers l'extérieur en emportant avec eux « les parties les plus subtiles de sel & de souffre » qui composent le métal. Ces « jets forcés » viennent frapper et ébranler les tourbillons dans les pores du doigt qu'on approche qui « réagissent avec la même force, mettant en mouvement les molécules grasses & sulfureuses qui forment la transpiration ». Il se crée ainsi « deux courants de matière éthérée qui vont l'un contre l'autre, qui se heurtent avec violence » : dans ce choc les petits tourbillons augmentent « de vitesse & de force centrifuge » ce qui communique un mouvement rapide aux sels, aux souffres et aux « parties aériennes » ; le « bouillonnement » dans toute cette matière « fermente » jusqu'à ce que son « ressort » devienne supérieur à la résistance de l'air « qui lui sert de vase », cette matière « s'enflamme » et « éclate » ce qui ne peut se faire sans une « percussion » contre l'air environnant ce qui produit les « petitemens » entendus⁴. Ainsi, « l'étincelle électrique est un petit éclair, un petit tonnerre » et « tous les Phénomènes lumineux qui accompagnent l'électricité sont de vrais feux, des feux terrestres »⁵.

Pour conclure, l'interprétation des phénomènes électriques chez Béraud repose sur des différences de forces centrifuges. Ainsi, l'agitation causée par le frottement du verre donne une « force pour se dilater » aux tourbillons qui migrent alors vers l'extérieur et compriment

1 Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 24-25.

2 *Ibid.*, p. 29-30. Sur cette question, voir Nollet, *Essai sur l'Electricité des Corps*, p. 157-159.

3 Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 31-32.

4 *Ibid.*, p. 32 et p. 34-35.

5 *Ibid.*, p. 32 et p. 34. Béraud rapporte des expériences assurant l'identité entre le feu et les phénomènes électriques. Une personne électrisée présentant son doigt au visage d'une autre il se produit une « gerbe enflammée » sensible. La même personne peut enflammer de l'« esprit de vin » préalablement chauffé en présentant son doigt. Ces expériences s'expliquent par la présence de « matières inflammables » : l'action des tourbillons de la matière électrique sur « les sels & les matières grasses, huileuses » qui composent « les atmosphères des deux personnes » et le choc des tourbillons électriques contre « les molécules d'une huile très-spiritueuse », les sels et les souffres de l'« esprit de vin », *ibid.*, p. 35-36. Ces expériences figurent chez Nollet, *Essai sur l'Electricité des Corps*, p. 122-123 qui en conclut que la matière électrique « pique », « éclaire », « brûle », « fonctions communes à celles du feu & de la lumière », voir aussi p. 181-185 et p. 189-193. Nollet voulant définir la nature de la matière électrique recherche un fluide qui possède ses « caractères », autrement dit « qui soit capable de brûler & d'éclairer, qui fasse néanmoins quelquefois l'un sans l'autre, qui éclate avec bruit suivant certaines circonstances, qui soit palpable & odorant, sinon par lui-même, au moins par les substances auxquelles il s'associe », des « caractères [qui] sont ceux du feu proprement dit ». Il énonce alors sept « propriétés communes » entre le feu et l'électricité (la nécessité d'un frottement pour les produire, la chaleur et l'électrisation s'accomplissent d'autant plus vites que les corps sont « denses » et composés de parties « élastiques », leurs actions semblent « s'étendre davantage & avec plus de facilité dans les métaux », leur transmission est rapide etc.) et en conclut « que le feu & l'électricité viennent du même principe, que la même matière, selon certaines circonstances & agitée d'une certaine façon, nous fait sentir de la chaleur, nous éclaire, & pousse les corps qui ne sont point électriques vers ceux qui le sont ». Voir Nollet, *Conjectures sur les causes de l'Electricité des Corps*, p. 113-121. Pour Nollet, la « lumière », les « piqures », l'« inflammation » résultent du choc des courants contraires des matières affluentes et effluentes : il considère « chaque particule de matière électrique comme une portion de feu élémentaire, enveloppée de matière grasse, saline ou sulphureuse qui la contient & qui s'oppose à son expansion » ; le choc « brise les enveloppes », « le feu devenu libre de ses liens éclate de toutes parts » et fait « retentir l'air qui l'environne », *ibid.*, p. 147-148. Sur la nature de cette matière et sur ce choc à l'origine de l'inflammation, voir aussi Nollet, *Essai sur l'Electricité des Corps*, p. 178-181.

les tourbillons du milieu selon la direction de « filets », pressions auxquelles l'éther extérieur plus dense – donc plus élastique – réagit¹. Ensuite, les tourbillons de ces « filets » pénètrent facilement dans les petites feuilles métalliques car celles-ci contiennent des pores « larges » où les tourbillons possèdent donc moins de forces – le même processus explique l'électrisation par « communication » ; ces « filets » communiquent alors leurs mouvements à ces tourbillons et cèdent ainsi aux tourbillons de l'éther extérieur plus « forts ». En approchant un doigt de ces feuilles, elles suivent les « filets » qu'elles émettent vers le lieu où ces filets trouvent « moins de résistance » soit vers les pores du doigt et non les pores de l'air. Les attractions-répulsions associées aux verres et aux résines résultent d'un rapport de forces entre leurs atmosphères. Par temps humide, les petits tourbillons d'éther dans l'air sont chargés d'eau et se voient ainsi « affoiblis », et l'été ils se dilatent et sont moins denses : dans les deux cas, leurs forces diminuent et conséquemment la propagation de l'électricité est moindre. Enfin, les phénomènes lumineux et l'inflammation suivent les explications de la genèse et de la propagation du feu de Lozeran du Fesc, ce feu résultant de la mise en tourbillons de différentes matières et d'une « fermentation » produite par un déséquilibre de tourbillons.

Le mécanisme de Keranflech

Keraanflech considère tous les corps environnés d'une atmosphère, plus dense au-dedans qu'en dehors, et qu'à mesure qu'on frotte une tube en verre « on irrite & chauffe son atmosphère extérieure » : en prolongeant le frottement,

la chaleur se communique à l'atmosphère intérieure, qui ne peut se dilater sans sortir. Il en sort donc une bonne quantité qui agrandit en un instant l'atmosphère extérieure, & en exclut l'air comme il est exclus (sic) par une flamme. L'air, en se retirant, se condense à la ronde, plus ou moins, selon l'étendue que veut prendre cette atmosphère².

Ceci posé, Keranflech donne le détail de trois mécanismes. Deux sont liés aux phénomènes d'attraction et de répulsion d'une feuille d'or par un tube ou une boule en verre étudiés suivant deux hypothèses.

L'une consiste à expliquer ces phénomènes indépendamment de la « communication » de la « vertu électrique » à la feuille, le processus décrit contenant alors des éléments explicatifs rencontrés chez Molières :

dès que l'atmosphère de la petite feuille [d'or] commence à entrer dans celle du tube l'air condensé, qui environne les deux, les pousse rudement l'une vers l'autre, comme il presse deux gouttes d'eau, & les fait concourir dès qu'elles commencent à s'approcher. La petite feuille est donc lancée, avec son atmosphère, vers le tube ; & de l'élanement qu'elles ont, elles le vont toucher. L'atmosphère de la petite feuille s'applatit contre le tube : & aussitôt par son ressort, elle revient sur ses pas. Mais dans ce retour, la feuille d'or, plus pesante qu'un pareil volume de sa petite atmosphère, revient plus vite, oblige ainsi sa petite atmosphère de s'allonger, & se condense devant la partie qu'elle pousse. Cette partie condensée se bande à un certain point, se détend bientôt contre la feuille, & la pousse encore vers le tube, où la même chose arrive à l'autre bout de la même atmosphère ; ainsi de suite, jusqu'à ce qu'enfin les allées & les venues, ou les oscillations de la petite feuille, à force de diminuer, s'évanouissent ; & alors elle demeure en repos au milieu de son atmosphère, à une distance moyenne du tube, c'est-à-dire, où son atmosphère aura fini de s'arrondir (*ibid.*, p. 216-217).

L'autre explication consiste à supposer que la « vertu » agit par « communication », autrement dit que la feuille s'électrise. Dans ce dernier cas, « la petite feuille est mise d'abord

1 Rappelons que Béraud entend par densité une concentration de tourbillons. Plus une atmosphère est dense, plus ses tourbillons sont serrés et plus ils possèdent de force.
2 Keranflech, *L'hypothèse des petits Tourbillons*, p. 213-214. Pour les atmosphères chez Keranflech et leurs compositions, voir la fin de ce chapitre.

au-dedans de l'atmosphère du tube, la pression de l'air n'a plus lieu ». Cette feuille électrisée « jette une grande quantité de son atmosphère, principalement du côté du tube », une « éruption » qui « entraîne la feuille ». En effet, une telle « éruption » ne se fait pas sans difficulté puisqu'il faut « ouvrir & élargir des pores » de la feuille, « heurter violemment une infinité de parois » : « les premiers tourbillons l'ayant fait, les suivans continuent : de sorte que les chocs dans le même endroit se trouvent prodigieusement multipliés, ce qui pousse la feuille plus efficacement en ce sens-là qu'en tout autre ». Keranflech exemplifie son propos : la poudre à canon, élastique, pousse en tous sens mais plus efficacement le boulet que la culasse ; en supposant un obstacle lié à l'embouchure du canon, ce boulet fait avancer le canon. Par conséquent,

la petite feuille parvenue trop brusquement auprès du tube en est aussitôt renvoyée par le ressort des fluides : & étant revenue en arrière, elle est aussitôt ramenée en avant par la continuation de l'éruption de ses éléments [c'est-à-dire les tourbillons de cette atmosphère] Elle est repoussée de nouveau : & elle revient encore de même, tant que l'éruption peut durer. Après quoi elle s'arrête à quelque distance du tube.

Keranflech propose pour variante que

l'éruption de l'atmosphère du tube, & celle de l'atmosphère du corps suspendu, se vainquent alternativement ; ce qui occasionne les allées & les venues du petit corps léger. Et enfin ce corps s'arrête où se fait l'équilibre des deux souffles, ou, si vous voulez, l'équilibre de leur impuissance respective (*ibid.*, p. 219-220).

L'air condensé enveloppe l'atmosphère d'un corps électrique, il « l'emboîte comme en une boule creuse » et empêche ainsi qu'elle ne se dissipe ; dans le vide, il est possible que ce soit l'éther qui « emboîte » cette atmosphère, bien que l'air le puisse aussi puisque la sphère d'activité de l'atmosphère électrique peut s'étendre au-delà du récipient de la machine à vide (*ibid.*, p. 233-234). Cette « condensation » permet de rendre compte de « ce double cours de matière *effluente & affluente*, qui cause tant d'admiration à ceux qui manient l'électricité ». En effet, l'« éruption » de matière qui se sent en approchant la main d'une matière électrisée s'accompagne d'une « irruption » en sens contraire (*ibid.*, p. 224) : les « élémens » de l'atmosphère s'échappent du corps frotté et ce qui est perdu est remplacé par ces mêmes « élémens » ce qui évite au corps « l'épuisement » de cette matière ; « tandis qu'une matière s'éloigne du tube, une autre matière s'en approche » et l'enveloppe autour de l'atmosphère « oblige les éléments [...] de retourner vers la masse, pour y remplacer ceux qu'elle perd » (*ibid.*, p. 214-215 et p. 234). L'évocation de « ceux qui manient l'électricité », de ce double mouvement et la terminologie (« affluente », « effluente ») ne sont pas sans évoquer Nollet ; l'air ou l'éther condensés permettent de justifier une « poussée » de cette matière affluente vers le corps électrique, mécanisme qui n'est pas aussi sans rappeler celui de Béraud.

Le troisième mécanisme concerne la « communication de l'électricité » qui repose sur le modèle de la fermentation :

le frottement [du tube] qui électrise d'abord une atmosphère, en altère la qualité en l'échauffant, & la fait *tourner*, pour ainsi dire, comme la chaleur fait tourner du vin, du lait doux &c. Cette *tournure* est sans contredit une fermentation qui dilate l'atmosphère, la fait sortir du corps, ainsi du reste. Mais cette atmosphère ainsi tournée, aigrie, corrompue, dilatée, met un levain toute autre atmosphère qui vient se mêler avec elle. Elle la fera donc tourner pareillement, se dilater, sortir du solide qui la contient, avec des éruptions semblables à celle de la matière d'une fusée [...] Voilà donc le corps électrisé capable d'en électriser d'autres (*ibid.*, p. 231-232).

Pour Keranflech les phénomènes électriques impliquent des réactions semblables à celles rencontrées dans les « météores », mais à plus petite échelle : malgré « toute cette différence

du grand & du petit, les causes sont les mêmes » (*ibid.*, p. 225-226)¹. Or, pour ces « météores », il écrit en trouver « un excellent détail dans l'Ouvrage de Mr. De Molières » (*ibid.*, p. 192)², ce dernier appliquant à ces phénomènes les principes mécaniques qu'il expose en chimie ; ces électrisations ressortissent donc des mêmes mécanismes que les réactions chimiques qui requièrent selon l'expression de Molières le « ciseau universel » ; par ailleurs, l'explication de Molières rapportée plus haut concernant la production d'une lumière lors de phénomènes électriques se retrouve chez Keranflech³. Aussi, l'évocation des « fermentations » dans la citation ci-dessus témoigne alors que le déséquilibre entre tourbillons donne son origine à l'électrisation. En effet, la fermentation résulte d'un mélange de liqueurs dont les petits tourbillons ne sont pas en équilibre : ils confrontent « leurs forces centrifuges [...] ils se rongeront mutuellement jusqu'à ce qu'ils arrivent à l'équilibre » ; « ceux qui auront plus de force centrifuge enleveront aux autres les matières solides qu'ils entraînoient sur leurs surfaces ; [...] ceux-ci ainsi dépouillés, & par conséquent déchargés & débarassés, deviennent aussitôt légers, & s'élèvent, en se dilatant vers le haut du mélange » (*ibid.*, p. 167-168). Par conséquent, lorsque l'atmosphère du tube frotté entre en contact avec celle de l'autre corps, il faut concevoir ses tourbillons plus forts que ceux de ce corps, et que par ce déséquilibre elle « met en levain », autrement dit, elle dilate l'atmosphère du corps jusqu'à une situation d'équilibre.

Comme pour Béraud, Keranflech fait reposer ses explications sur des différences de forces centrifuges de petits tourbillons qui composent des atmosphères. Pour Keranflech, les petits tourbillons d'un verre frotté viennent « condenser » ceux de l'air extérieur : ceci rend compte du double flux, une « *éruption* » sortant du corps frotté et une « *irruption* » de matière entrante. Keranflech n'explique pas vraiment le lien entre ce double flux et les mécanismes d'attraction-répulsion qu'il propose. Ainsi, pour son premier mécanisme, l'atmosphère d'une petite feuille d'or subirait cette « *irruption* » qui la pousserait vers le tube électrisé ; elle rebondirait ensuite sur le tube ce qui expliquerait la répulsion, l'« *éruption* » ne paraissant pas explicitement entrer dans ce mécanisme. La conception de Keranflech de l'électrisation par « communication » permet de mieux saisir les deux autres mécanismes qu'il propose. En effet, cette électrisation se produit comme une fermentation : les tourbillons plus « forts » d'un tube en verre frotté sont en déséquilibre avec ceux du corps à électriser, ils migrent vers eux et communiquent ainsi de leur force. Manifestement, ceci crée une atmosphère autour du corps et donc aussi cette « *éruption* » et cette « *irruption* ». Keranflech recourt à ces flux pour les deux autres mécanismes des attractions-répulsions : soit la feuille d'or électrisée par communication subit son propre flux, s'approche du verre, et rebondit ; soit s'opère une confrontation entre les flux du verre et de la feuille.

Les mécanismes de Keranflech et par Béraud reposent sur les petits tourbillons et leurs déséquilibres ; ils renferment aussi des points communs avec ceux de Jallabert et de Nollet.

Jallabert et Nollet

Jallabert suppose qu'un « fluide très délié, très élastique » remplit l'univers et tend à « l'équilibre », un fluide plus rare dans les corps denses, et plus dense dans les rares : les interstices dans l'air contiennent un fluide plus dense que ceux d'un métal. Le frottement

1 Les éclairs, le tonnerre etc. à grande échelle et des « petites lueurs, de légères nuances, des pétilllements, de petits trémoussements dans quelques membres » à plus petite échelle, *ibid.*

2 Pour l'explication de Molières, voir Partie II, Chapitre III.

3 *Ibid.*, p. 213-214 : « à mesure qu'on frotte le tube, on irrite & on échauffe son atmosphère extérieure qui tend à se dilater : & dès lors les petits tourbillons dans lesquels elle consiste, & qui sont de plusieurs espèces, peuvent fermenter entr'eux. Le tumulte de cette fermentation excite un frémissement & un tremblement dans les éléments de cette atmosphère, qui mettent en vibration le véhicule de la lumière avec lequel ils balancent, &c. ; ce qui fait paroître le tube lumineux, ou bien plutôt son atmosphère ».

d'une boule en verre met en mouvement les « particules électriques » occupant les pores de la surface et fait vibrer les « fibres élastiques du verre ». Par ce dernier mouvement, la « matière électrique » est « chassée » hors du verre ce qui « comprime » la matière de même nature répandue dans l'air qui apporte une résistance à sa « condensation », « la matière électrique, en s'éloignant par ondulation du globe devient plus dense & plus élastique jusqu'à certain point ; [...] il se forme autour du corps frotté une atmosphère plus ou moins étendue, dont les couches les plus denses sont vers la circonférence, & diminuent en densité jusqu'au corps électrisé ». Ainsi s'explique l'attraction, car « un corps léger qui se trouveroit au-dedans de la couche la plus élastique seroit donc poussé de celle là à la couche voisine qui est plus foible ; & ainsi de couche en couche jusqu'au globe ». Concernant la répulsion, la « force » avec laquelle la matière s'est élancée du verre frotté est « consumée » (autrement dit, emmagasinée) par le fluide environnant lequel « condensé au-delà de son état naturel » pousse cette matière sortie du verre qui rebrousse ainsi chemin vers ce dernier ; plus elle s'en approche, plus elle se condense autour du verre, et alors le corps léger placé dans ce milieu se voit repoussé du verre vers la circonférence. Ainsi, « le fluide électrique est autour du corps électrisé dans de perpétuelles oscillations de dilatation & de contraction, par l'action du fluide qui s'échape de ce corps ; & la réaction du fluide dont l'air abonde. C'est cette action du fluide que la force du frottement exprime des pores du globe, & cette réaction du fluide répandu dans l'air, qui produisent l'attraction & la répulsion »¹.

Jallabert remarque que si on approche un corps électrisé d'un corps « dense », autrement dit avec peu de pores et de canaux internes, et donc avec une matière électrique peu abondante, « les ondulations du fluide électrique qui se portent toujours du côté où elles trouvent une moindre résistance, atteignant le corps dense, s'y étendront librement »². Le corps acquiert alors une atmosphère composée par son propre fluide électrique « ébranlé & poussé au dehors par la matière émanée du corps électrisé » et par celle de ce dernier qui sortant de ce corps « par sa tendance à être par tout en équilibre, se sera d'abord insinuée dans les pores » de l'autre corps. Ce phénomène explique qu'après avoir été attirée par un verre frotté, une feuille d'or puisse être repoussée : cette feuille devenue électrisée son atmosphère et celle du verre tendent à s'étendre en sens contraire et réagissent mutuellement, celle du verre plus forte repoussant alors le petit corps (*ibid.*, p. 152-153). En approchant un doigt vers la feuille, son atmosphère conservée par « la résistance de l'air qui l'environnoit » pénètre le doigt vers lequel elle tend en emportant la feuille. Jallabert ajoute une autre explication :

la matière électrique tend à s'étendre où elle rencontre le moins de résistance, la matière qui environne le corps électrisé devra se porter avec impétuosité vers le corps non électrique qu'on approchera ; & en chassant & en écartant le fluide subtil entr'eux, elle devra condenser celui des environs. Ce fluide, étant condensé, ré-agit pour retourner à son premier état avec une force égale à celle avec laquelle il en a été chassé ; & il presse, & pousse les deux corps l'un vers l'autre (*ibid.*, p. 156-157).

Par ailleurs, Jallabert remarque que deux corps de force égale à l'approche l'un de l'autre se repoussent, mais que s'ils possèdent deux atmosphères différentes, « le mouvement de la plus foible sera bientôt détruit ; & les deux corps s'approcheront ». Ce mécanisme basé sur une « inégalité de force » des atmosphères permet de rendre compte des expériences de Dufay sans faire intervenir deux électricités différentes, celle des corps « vitrés » et l'autre des

1 Jallabert, *Expériences sur l'Electricité*, p. 138-143. Manifestement, l'éther dans l'air environnant le corps frotté étant plus dense que celui dans ce corps, il « résiste » à la matière électrique qui jaillit ce qui conduit alors à la « condensation » de celle-ci, *ibid.*, p. 143. Sur cette explication, voir Benguigui, *Théories électriques du XVIII^e siècle*, p. 20-23. Nollet émet des réserves sur ce mécanisme dans sa lettre à Jallabert du 18 janvier 1747, en remarquant qu'un tube frotté peut attirer et repousser simultanément plusieurs corps, alors qu'il semble que suivant cette explication les oscillations entraînent successivement des phases d'attractions et de répulsions, *ibid.*, p. 151-154.

2 Jallabert, *Expériences sur l'Electricité*, p. 177-178.

« résineux » : puisque le verre est plus « élastique » que la résine, il « lance » avec « plus de force » son fluide électrique (*ibid.*, p. 164-166)¹.

Jallabert postule donc un équilibre du fluide qui se répand là où il trouve moins de résistance. Les mécanismes reposent sur des différences de densités/forces de fluides électriques. Jallabert énonce deux explications pour l'attraction-répulsion électrique. La première implique l'électrisation d'un corps et une lutte entre deux atmosphères qui s'entendent dans des directions contraires, mécanisme proche de celui rencontré chez Keranflech. La seconde consiste en la création d'une dépression entre le corps électrique et celui subissant son action, et suppose un reflux de la matière entre eux qui contribue ensuite à presser et rapprocher ces corps, mécanisme qui n'est pas sans évoquer ceux des phénomènes magnétiques rapportés plus haut et qui figure dans l'explication de l'attraction entre des résines et du verre électrisés chez Nollet.

Comme Jallabert, Nollet évoque aussi un « équilibre » bien qu'il semble l'introduire pour une autre raison. Cet équilibre lui permet de justifier qu'une même quantité de matière entre et sort d'un corps électrisé : « si la matière électrique est présente partout, comme il y a tout lieu de le croire, elle doit s'empresse de remplir tous les espaces qui se trouvent vides des parties de son espèce ; c'est le propre des fluides, de se répandre uniformément, & de se mettre en équilibre avec eux-mêmes »². L'expérience montre que les pores d'un corps d'où sort la matière « effluente » sont en plus petits nombre que ceux par lesquels elle entre. La matière entrant par davantage de pores, elle doit se mouvoir moins rapidement que celle qui sort du corps ; cette idée reposant sur la conception d'un univers plein permet de justifier des différences de quantités de matière et de vitesses entre les flux sortants et entrants³. En somme, l'« équilibre » renvoie avant tout à une conservation de quantité de mouvement.

C'est sur cette différence de quantité de matière que Nollet s'appuie pour justifier qu'une feuille d'or est d'abord attirée et ensuite repoussée par un globe de verre électrisé⁴. Autour de la feuille d'or électrisée par le globe s'est créée une atmosphère de matière effluente et affluente, atmosphère qui augmente le volume du corps et le rend alors susceptible de subir l'action de la matière effluente du verre : la feuille peut ainsi s'en éloigner⁵. Si on approche un autre corps comme du verre frotté ou une résine frottée de cette feuille, elle s'éloigne du verre et s'approche de la résine. En effet, la matière émanant de deux corps est toujours dans des mouvements de sens contraires : pour que ces corps s'approchent, il faut ou que ces « rayons » contraires cessent, et alors les matières affluentes rapprochent les corps, ou que ces « rayons » trouvent un libre passage entre les corps. La feuille d'or électrisée a en quelque sorte son « volume augmenté » et, ainsi, elle peut subir l'action du fluide effluent d'un second verre qu'on approche d'où la répulsion. *A contrario*, « les rayons effluents de ces matières électrisées [les résines] sont plus foibles » que ceux du verre et, par ailleurs ces résines sont pénétrées plus facilement par le fluide électrique lorsqu'elles ont été frottées au préalable : la feuille et la résine ne se repoussent pas, leurs « rayons effluents » se pénètrent mutuellement et « cette pénétration mutuelle fait que la résistance est moindre entre ces deux corps que par-

1 Ce que l'expérience confirme en montrant que l'atmosphère des corps « résineux » agit moins loin que celle des corps « vitrés » et que l'électrisation des corps s'avère plus faible avec des résines que du verre. Par ailleurs, des corps de même nature (deux verres, par exemple) peuvent s'attirer.

2 Nollet, *Essai sur l'Électricité des Corps*, p. 160.

3 *Ibid.*, p. 81-89. Nollet, *Conjectures sur les causes de l'Électricité des Corps*, p. 135-137 pour les quantités de matière affluente et effluente. Dans ce mémoire Nollet n'évoque pas l'équilibre, pas plus qu'il ne mentionne un univers plein : il remarque concernant le corps électrisé « qu'on ne voit jamais qu'il s'épuise de cette matière qu'il lance », ceci suggérant que la matière entrante « remplace » celle qui sort.

4 Nollet, *Essai sur l'Électricité des Corps*, p. 148-151. Nollet, *Conjectures sur les causes de l'Électricité des Corps*, p. 140-141 : pour une feuille d'or soumise à un verre électrisé, « les rayons de la matière effluente étant beaucoup plus rares que ceux de la matière affluente, ceux-ci remplissent dans le cercle d'activité tous les vides que les autres laissent entr'eux [...] de sorte que la matière affluente a toujours plus de prise sur le corps flottant ».

5 Nollet, *Essai sur l'Électricité des Corps*, p. 151-153.

tout ailleurs aux environs ; car c'est un fait que la matière électrique a plus de peine à pénétrer l'air de l'atmosphère, que les corps les plus solides »¹.

L'électrisation par communication consiste à créer ce double flux dans un corps : le mouvement effluent produit provient des « impulsions continuelles » dans ce corps par la matière effluente du corps électrique sur la matière électrique « au repos » qui, mise en mouvement, doit « se porter du dedans au-dehors » ; la matière affluente entrant dans ce corps vient de son « voisinage » qui remplace celle qui sort².

CONCLUSION

Dufay observe que « par la distance à laquelle la feuille [d'or] se tient éloignée du tube [de verre électrisé], on peut juger de l'étendue du tourbillon électrique »³. Au bout d'un certain temps, la feuille tombe, entre en contact avec le verre et s'en éloigne. Cette expérience illustre ce « principe » que la feuille non électrisée le devient par contact ou en s'approchant du tube : elle « contracte » ainsi « un tourbillon électrique » qui se dissipe et, n'étant alors plus « repoussée », elle tombe sur le verre où « elle reprend un nouveau tourbillon, & par conséquent de nouvelles forces pour l'éviter » (*ibid.*, p. 459-460) ; ceci se poursuit « tant qu'il subsistera dans le tube assés de vertu pour lui [à la feuille] en communiquer une quantité capable de surmonter sa pesanteur » (*ibid.*, p. 461). Dufay, comme Fontenelle, évoque alors l'existence d'un unique tourbillon autour du corps électrisé : « il faut que le Tourbillon du corps électrique par lui-même aille s'attacher à celui qui le devient par *communication*, ou plutôt se partage entre les deux »⁴.

Bien que Dufay évoque ce « tourbillon électrique », il n'explicite pas véritablement les mécanismes électriques via l'action des fluides subtils. Molières semble le premier à introduire des petits tourbillons pour expliquer les phénomènes électriques. Il rejette l'existence d'une circulation d'un tourbillon du fait de l'absence observée de mouvements des corps suspendus. Molières, Béraud et Keranflech vont au-delà de Nollet et Jallabert en s'attachant à la nature même de la matière électrique : une fois les atmosphères composées de petits tourbillons les déséquilibres, et donc des différences de « forces » impliquant ces atmosphères, doivent expliquer les phénomènes. Si Jallabert évoque un fluide « élastique », s'il écrit que la matière se meut là où elle trouve le moins de résistance et s'il évoque des équilibres, il ne donne pas la cause mécanique de cette élasticité et des mouvements des fluides lesquels résultent de différences de leurs pressions. De la même manière, sans expliciter davantage la nature du fluide électrique, Nollet le considère comme « élastique », il conçoit que « la matière électrique » et celle du feu sont « la même » et il écrit que « les parties du feu élémentaire sont comme de petits ressorts tendus »⁵ ; il suppose aussi ce fluide constitué de « parties solides » afin qu'il soit capable de « heurter » et d'« entraîner » avec lui les matières solides attirées et repoussées⁶. Nollet et Jallabert ne seraient ainsi pas exempts des critiques que Molières, Béraud et J. (II) Bernoulli adressent à l'encontre de Huygens et de Newton qui supposeraient un éther « élastique » sans donner la raison de cette propriété.

Bien que Molières, Béraud et Keranflech s'accordent sur les principes généraux – la matière électrique se compose de tourbillons et les équilibres et déséquilibres entre deux atmosphères rendent compte des phénomènes –, cela ne signifie pas que leurs explications

1 *Ibid.*, p. 154-157. La matière électrique pénètre plus facilement les métaux que l'air, et ne pénètre pas les résines gommées etc. à moins de préalablement les chauffer : ces propositions sont établies expérimentalement, *ibid.*, p. 107-116 et p. 145-146.

2 *Ibid.*, p. 161-163.

3 Dufay, *Quatrième Mémoire sur l'Electricité*, p. 459.

4 Fontenelle, *Sur l'Electricité*, HARS 1733 (1735), p. 6.

5 Nollet, *Conjectures sur les causes de l'Electricité des Corps*, p. 130-131.

6 Nollet, *Essai sur l'Electricité des Corps*, p. 168-169.

concordent ; au demeurant, Keranflech peut proposer plusieurs mécanismes pour une même expérience. Comme pour Nollet et Jallabert, Béraud et Keranflech estiment que la matière électrique se répand là où elle trouve moins de résistance, autrement dit vers les corps « denses » – où cette matière est en moindre quantité – qu'elle électrise par « communication ». Cette électrisation consiste à prodiguer aux corps les propriétés du corps électrique, à savoir ce double mouvement de l'atmosphère – pour Béraud et Keranflech – et cette densité de couches d'éther décroissante en forces en s'éloignant du corps pour Molières. Contrairement à Molières, Béraud et Keranflech supposent des atmosphères plus « condensées » à leurs extrémités afin d'expliquer un double flux d'éther : ceci résulte chez Béraud d'une réflexion portée sur la nature des corps électriques et, chez Keranflech, du fait que l'air ou l'éther sont plus condensés loin du corps électrique.

Ce mouvement « alternatif » du fluide n'existe pas chez Molières ; la matière « effluente » et celle « affluente » de Nollet ne seraient pas étrangères aux mécanismes proposés par Keranflech et Béraud. Finalement, Molières révisé l'idée générale d'une circulation d'un tourbillon autour d'un corps par l'introduction d'une atmosphère de petits tourbillons et, tout en s'appuyant sur Dufay, sa réforme correspond à une première version du mécanisme électrique fondé sur ces tourbillons, version complétée par Béraud et Keranflech qui eux sont contemporains ou viennent à la suite de Nollet et de Jallabert.

Pour Béraud et Keranflech la matière électrique se meut vers les corps comprenant dans leurs pores des tourbillons plus faibles auxquels elle donne de la force. Bien que plus denses, les métaux contiennent de grands pores avec des tourbillons de moindre forces vers où migrent cette matière électrique : Béraud et Keranflech expliquent ainsi l'électrisation par « communication ». Pour Molières et Keranflech, dans des corps plus denses les tourbillons sont dits denses dans le sens où ils transportent une matière solide à cause de laquelle ils possèdent une moindre « force » ; pour Béraud une plus grande densité du corps solide entraîne une plus grande compression des tourbillons et donc une plus grande « force ». Keranflech et Molières considèrent que si la densité du corps augmente alors la force des tourbillons diminuent. Béraud suit ici cette conclusion mais pour d'autres raisons : les métaux plus denses que les autres corps contiennent aussi de plus grands pores donc des tourbillons de moindre force vers où migre la matière électrique d'un corps frotté. Molières n'évoque pas explicitement ce type de mécanisme basé sur le flux du fluide du corps électrique vers celui qui ne l'est pas. Il semble au contraire supposer les tourbillons d'huile plus forts – plus comprimés – dans les métaux et, par conséquent, en déséquilibre avec ceux du tube frotté, ils tendent à sortir du métal et à former ainsi une atmosphère dont les forces des couches diminuent en s'éloignant du corps.

Malgré tout, au-delà de ces différences, les atmosphères sont des milieux dont les couches possèdent des degrés de forces variables à même d'expliquer les mouvements des corps placés dans ces milieux. Pour Molières, l'atmosphère créée autour d'un petit corps qui présente des couches plus denses pour sa partie en vis-à-vis du tube en verre et la pression du milieu ambiant expliquent les mouvements des feuilles d'or. Pour Béraud, la matière sortant du corps électrique perd son mouvement et l'éther plus comprimé au niveau de la périphérie de l'atmosphère réagit alors. Keranflech développe différentes explications impliquant une plus grande condensation de l'atmosphère à son extrémité ou reposant sur des flux contraires de tourbillons. Ce sont donc toujours des différences de forces de petits tourbillons qui expliquent ces attractions-répulsions et l'électrisation par « communication » laquelle est notamment conçue selon le mécanisme d'une « fermentation » qui fait appel aux théories chimiques basées sur ces tourbillons.

LES ATMOSPHERES

Les phénomènes optiques, magnétiques et électriques font appels à des modifications locales des densités d'éther dues à la seule présence de corps solides. Sans donner ici une histoire de ces « atmosphères », notons que leurs usages s'inscrit dans un contexte et que leurs natures se voient réinterprétées dans le cadre du système des petits tourbillons.

En 1706, Hartsoeker conçoit qu'une « atmosphere de matiere subtile [...] entoure toujours plus ou moins tous les corps, principalement quand ils sont un peu échauffés ». L'auteur évoque les « vapeurs » formées autour d'un corps que le soleil échauffe faisant « trembler » les objets vus à travers elles « parce que les rayons qui les traversent y souffrent continuellement des refractions differentes »¹. Dans les pages qui précèdent, il évoque les réfractions que subissent les rayons de lumière à l'approche de l'atmosphère terrestre à cause des « vapeurs » qu'elle recèle : en s'approchant de la surface de la planète, l'air devient de plus en plus « chargé » causant ainsi « une infinité de très-petites refractions insensibles ». S'explique alors la possibilité d'apercevoir la lune lorsqu'elle se situe dans le cône d'ombre de la Terre. De la même manière, la diffraction s'identifie à « une veritable refraction » issue de cette atmosphère enveloppant la matière².

Manifestement, en 1706, Hartsoeker ne connaît pas l'*Opticks* de 1704 de Newton ni son édition latine de 1706³. Dans la Question XIX de la seconde édition anglaise de 1718 de son livre, Newton demande si « la Refraction de la Lumière ne provient-elle pas de la différente densité de ce Milieu étherée en différens endroits, la Lumière s'éloignant toujours des parties du Milieu qui sont les plus denses » ; une densité qui s'avère plus grande dans les espaces sans air et sans corps, Newton évoquant le cas d'une réflexion totale d'un rayon qui ayant traversé du verre tombe « fort obliquement » sur une de ses surfaces, réflexion qui « doit plutôt venir de la densité & de la vigueur du Milieu hors du Verre & au delà du Verre, que de sa rareté & de sa foiblesse »⁴. Cet éther devient « dense par degré » à mesure qu'on passe de du verre, du cristal, de l'eau, et d'autres corps « denses & compactes » dans des « Espaces vuides » et

ne rompt-il pas par ce moyen les Rayons de Lumière, non en un Point, mais en les pliant peu à peu en Lignes Courbes ? Et la condensation graduelle de ce Milieu ne s'étend-elle pas à quelque distance des Corps ; & ne produit-elle pas par là les Inflexions des Rayons de Lumière, qui passent près des extremités des Corps denses à quelque distance de ces Corps ? (*ibid.*, Question XX, p. 493-494)

Newton évoque, par ailleurs, la « friction » qui peut « faire évaporer d'un corps électrique » une « exhalaison » à la fois « rare » et « subtile », quoique « puissante », qui se répand dans une « Sphere » d'une certaine étendue et qui est susceptible d'agiter ou d'élever des feuilles d'or (*ibid.*, Question XXII, p. 498).

Ce recours aux densités de fluides est présent dès les années 1670 dans une lettre que Newton adresse à Boyle et publiée dans l'édition de 1744 des œuvres de ce dernier⁵. Cette lettre, ainsi que les ouvrages de Bryan Robinson sur l'éther de Newton, contribueront à l'essor d'explications de phénomènes physiques, notamment électriques, à l'aide de fluides impondérables chez les savants britanniques⁶. D'Alembert laisse entendre dans l'article

1 Hartsoeker, *Conjectures Physiques*, Amsterdam, Henri Desbordes, 1706, p. 306.

2 *Ibid.*, p. 304-306.

3 Au sujet de la découverte du phénomène de diffraction, Hartsoeker ne mentionne que Grimaldi « dans une observation, que personne que je sache n'a encore faite que lui », *ibid.*, p. 306. Notons, au demeurant, que le développement de la notion d'atmosphère n'apparaît véritablement que dans l'édition de 1718 du *Traité d'optique*.

4 Newton, *Traité d'optique*, Question XIX, p. 493.

5 Pour cette lettre, voir *The correspondence of Robert Boyle*, éd. Michael Hunter, Antonio Clericuzio et Lawrence M. Principe, London, Pickering & Chatto, 2001, vol. V, p. 141-149 ; *Isaac Newton's papers and letters on natural philosophy and related documents*, éd. I. B. Cohen, Cambridge, MA, Harvard University Press, 1958, p. 250-253.

6 Sur cette question, voir Heilbron, *Electricity in the 17th & 18th Centuries*, p. 67-71 et Peter M. Heimann, « Ether and imponderables », éd. Geoffrey N. Cantor et Michael J. S. Hodge, *Conceptions of ether. Studies in the history of ether theories 1740-1900*, Cambridge, Cambridge University Press, 1981, p. 70.

« Atmosphère » de l'*Encyclopédie* l'importance de Boyle quant au développement d'une telle notion : « *Atmosphere* des corps solides ou durs, est une espece de sphere formée par les petits corpuscules qui s'échappent de ces corps [...] M. Boyle prétend que tous les corps, même les plus solides & les plus durs, comme les diamans, ont leur *atmosphere* »¹. Dans sa *Dissertation sur la glace* de 1749, Mairan évoque le *Traité d'optique* de Newton et le *De Atmosphaeris corporum consistentium* de Boyle pour légitimer son usage d'atmosphères autour de corps². Ce qui pouvait, d'après la précédente citation de Newton, faire office de conjecture apparaît comme un élément de recherche essentiel pour Mairan, notamment dans son explication de la diffraction : ces « atmosphères » offrent la possibilité de concilier le mécanisme avec les expériences de l'optique newtonienne³.

FONTENELLE ET DORTOUS DE MAIRAN : ATMOSPHERES ET DIFFRACTION

En 1740, Fontenelle évoque ce recours à une atmosphère autour d'un corps à l'occasion de la réfraction, rapportant que Newton a observé qu'un rayon tombant obliquement sur la surface d'une lame de verre ne la traverse pas selon sa direction incidente mais va « en se courbant » avant d'entrer dans cette matière, y poursuit une trajectoire rectiligne, et en ressortant « reprend en dehors la même petite courbure de l'entrée, mais en sens contraire » : en imaginant une « atmosphere » autour du verre, la raison du phénomène « saute aux yeux »⁴. Ce milieu autour du verre ne constitue pas un « milieu uniforme » ; il existe des différences de « densités » entre les couches d'une atmosphère « puisque ce sera une émanation de différentes particules du Verre qui s'arrangeront entr'elles selon leurs densités ou pesanteurs ». Par ailleurs, Fontenelle suppose une « égale épaisseur » d'atmosphère autour du verre et « ses différentes couches disposées par-tout entr'elles de la même manière, ce qui est assurément le plus naturel » ; le rayon décrit alors deux courbes identiques mais « renversée[s] ».

Ces différences de densités rendent compte d'une succession de réfractions expliquant la formation d'une courbe. Fontenelle estime « très-vraisemblable » que la densité des atmosphères considérées comme des émanations des corps diminue en fonction de l'éloignement de ces corps « puisque leurs particules plus grossières & plus massives, doivent être poussées avec moins de vitesse ». Malgré tout, une répartition inverse des densités s'avère possible :

par exemple, les particules les plus éloignées, dont le mouvement par conséquent auroit été moindre, auroit été d'ailleurs de nature à s'accrocher aisément ensemble, & par-là seroient devenuës plus denses, sans néanmoins retomber, parce qu'elles n'auroient pas la force de surmonter la résistance des inférieures.

6 Newton, *Traité d'optique*, p. 493-497.

1 D'Alembert, « Atmosphère », *Encyclopédie*, t. I, p. 822b.

2 Mairan, *Dissertation sur la glace* (1749), p. 111 : « ces mouvemens intérieurs ou extérieurs d'un fluide subtil, par rapport à des corps ou des corpuscules quelconques, & l'espece d'atmosphère que ce fluide forme autour d'eux, qui repousse les uns & qui s'accroche aux autres, quelqu'hypothétiques qu'ils paroissent, ne doivent point surprendre, & sont admis par les Physiciens les plus habiles, & sur-tout par ceux que des expériences aussi nombreuses que délicates ont rendu célèbres », en l'occurrence Newton et Boyle. Mairan se réfère à « Newton, *Opt. l. 2. part. 3. pr. 8* », à savoir Newton, *Traité d'optique*, Livre II, Partie III, Proposition 8 p. 359-370 : cette proposition stipule que la réflexion de la lumière se produit au niveau des pores des corps sans pour autant évoquer « l'espece d'atmosphère » formée autour des parties solides de ces corps. Voir Boyle, *Essays of the strange subtilty great efficacy determinate nature of effluvioms. To which are annex new experiments to make fire ans flame ponderable : together with a discovery of Perviousness of Glass*, dans *The works of Robert Boyle*, vol. VII, p. 227-336.

3 Mairan, *Dissertation sur la glace* (1749), p. 111 écrit qu'« entre une infinité de phénomènes, ceux de la réfraction de la Lumière, & surtout de la Diffraction, prouvent sensiblement la réalité de ces atmosphères » et renvoie alors à un mémoire de 1738 que nous évoquons ci-dessous.

4 Fontenelle, *De la diffraction ou inflexion des rayons*, HARS 1740 (1742), p. 85.

C'est le cas de l'atmosphère d'un « Corps gras » tel que le cheveu, « l'inflexion » qu'il produit s'avérant opposée à celle du verre. Fontenelle demande si dans cette diversité de densités « il ne se découvre point ici quelque rapport avec les deux Electricités, l'une Vitree, l'autre Résineuse [...] Il est toujours sûr qu'elles naissent d'Atmospheres différentes entr'elles, & les mêmes que nous venons de concevoir pour les Rayons ». Il ne développe pas davantage ce point mais conçoit manifestement la possibilité d'expliquer différents phénomènes physiques par le biais de ces différents gradients de densité. Il recourt alors à l'expression « Système des petites Atmospheres » lorsqu'il rend compte de l'interprétation mécanique de Molières des variations de la vitesse de la lumière lors de son passage à travers la lame de verre. Fontenelle conclut alors qu'« il y a bien de l'apparence que tous les phénomènes fins de la Phisique, ceux qui nous échappent le plus, tiennent à des causes de cette espèce » (*ibid.*, p. 85-89). Dans plusieurs passages, il évoque l'optique de Molières et réfute le recours à des actions à distances pour justifier les inflexions : les atmosphères avec leurs densités variables ont pour fonction de fournir un mécanisme remplaçant la théorie newtonienne de l'émission (*ibid.*, p. 84-85, p. 87 pour Molières, p. 84 et p. 86 pour la critique des forces à distances). Plus précisément, c'est « le Choc des Corps à ressort » qui fournit le modèle adéquat, en l'occurrence celui impliquant des « Globes élastiques inégaux » rangés en « files », chocs étudiés par Huygens (*ibid.*, p. 87).

Cette idée de faire « système » avec ces atmosphères apparaît aussi en 1738, Fontenelle justifiant le recours à « une Atmosphere très-subtile » autour d'un fil placé horizontalement au niveau de l'ouverture d'une chambre obscure pour expliquer le phénomène de diffraction, opposant ainsi un « Mécanisme connu » aux « causes imaginaires » telles qu'une attraction ou une répulsion dans le cadre de la théorie de l'émission¹. Ainsi, « l'ombre de la partie du fil frappée par le rayon » recueillie sur une feuille blanche apparaît plus grande qu'elle ne devrait être, car elle ne correspond pas véritablement à celle de ce fil « mais à celle de son Atmosphere ». Celle-ci « rompt » les rayons, et la diffraction revient à « une simple réfraction ». Au demeurant, le phénomène s'accompagne de spectres de part et d'autre de l'ombre attestant bien de réfractions non dans le fil lui-même mais « dans une matière qui [l']environnoit ». Fontenelle remarque alors qu'

il ne doit pas paroître étonnant que ces fils ayent une Atmosphere, tous les Aimans en ont une presque visible par l'arrangement que la limaille de fer prend autour d'eux. Tous les Corps en prennent une dès qu'ils ont été électrisés, & toutes ces Atmospheres sont aussi presque visibles par des effets bien marqués [...] Il est vrai que ces Atmospheres ne paroissent pas être naturelles aux Corps, puisqu'elles sont produites par l'électrisation, mais peut-être l'électrisation n'a-t-elle fait que les manifester en leur donnant une détermination de mouvement plus forte. Ces petites Atmospheres ne nous sont pas encore assez connus, & en général ce qui nous échappe le plus, c'est le jeu des plus petits Corps, qui est cependant en quelque sorte l'ame de tout le reste.

Il termine son texte en remarquant que « par la supposition du simple Mécanisme, & par l'Art moderne des expériences, on est, selon toutes les apparences sur les bonnes voyes de la Phisique, mais on ne fait presque encore que commencer à y être » (*ibid.*, p. 95-97). L'usage de telles atmosphères s'inscrit donc dans un contexte polémique et elles semblent offrir la possibilité d'unifier différents champs de la physique.

¹ Fontenelle, *Sur la réflexion, la réfraction, & la diffraction de la lumière*, HARS 1738 (1740), p. 96.

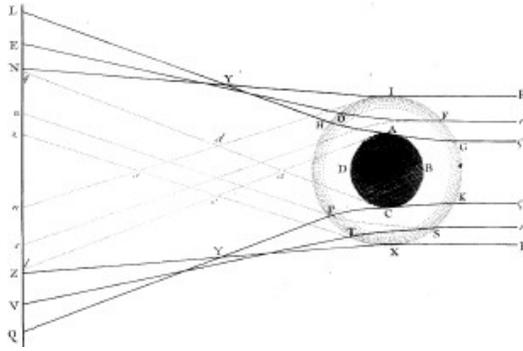


Fig. 38 : Mairan, *Troisième partie des recherches physico-mathématiques* (1740), p. 64
 Diffraction autour de la coupe cylindrique d'un cheveu *ABCD*.
IFGKNXTFHO représentent les limites de l'atmosphère, *RI, Fr* etc. les rayons incidents.

Mairan écrit que la diffraction ne diffère pas d'une réfraction résultant de « cette petite atmosphère que mille expériences nous démontrent, qui environne le corps & qui peut varier de réfringence, & de mouvements à l'infini, selon [sa] différente contexture, ou les mélanges des matières qui les composent ». Aussi, lors de la diffraction, le « détour » des rayons autour du fil provient d'un milieu l'enveloppant, une « atmosphère de matière réfractive plus résistante par rapport à la lumière que l'air »¹. Comme évoqué précédemment dans la partie dévolue à l'optique, pour Mairan la réfraction est conçue comme une résistance ; les déviations autour d'un fil de rayons provenant de l'air conçues comme des réfractions imposent donc la présence de cette matière « plus résistante ». Les expériences de diffraction au voisinage du cheveu *ABCD* (représenté en coupe dans la Fig. 38) montrent que les rayons issus de *R* s'écartent moins de la zone d'ombre que ceux venant de *r*, eux-mêmes s'écartant moins que ceux partant de *ρ*. Par conséquent, « la réfraction est d'autant plus grande dans *IPK*, que les rayons passent plus près du corps diffringent *ABCD* » or, « le contraire devrait arriver dans une atmosphère cylindrique homogène, puisque la Réfraction croît avec l'obliquité de l'incidence des rayons, & que l'incidence en *I* est plus oblique qu'en *F*, & en *F* qu'en *G* &c. » Mairan en conclut qu'

il faut donc imaginer que les couches de l'atmosphère *IPK*, augmentent de réfringence de *I* vers *A*, en approchant du corps *ABCD*, ou que cette atmosphère est composée dans toute son étendue de parties hétérogènes à cet égard, de manière que les plus proches de la surface du cheveu, ou du centre de sa section, ou en général celles de la plus grande force réfringente renvoient en *L* les rayons qui forment la troisième suite de couleurs en partant de l'ombre [Fig. 39], que les plus éloignés du centre, ou, en quelque lieu qu'elles soient, que celles de la moindre force les renvoient en *N*, pour y faire la première suite, & les moyennes en *E*, pour y faire la seconde ; & ainsi de l'autre côté, *Q, Z, V, &c.* (*ibid.*, p. 57)

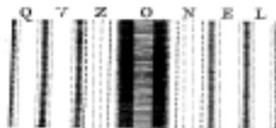


Fig. 39 : Mairan, *Troisième partie des recherches physico-mathématiques* (1740), p. 64
 Franges de diffraction de part et d'autre de la zone sombre *O, N, E, L* correspondent aux franges recueillies en *N, E, L* dans la figure 21. Selon la terminologie de Mairan, *N, E, L* forment les premières, deuxièmes et troisièmes « ordres ou suites de couleurs [...] posées l'un auprès de l'autre à peu près comme les Spectres d'autant de Prismes ajustés l'un sur l'autre » (*ibid.*, p. 55).

¹ Mairan, *Troisième partie des recherches physico-mathématiques sur la réflexion des corps*, MARS 1738 (1740), p. 54.

La diffraction offre aussi une « singularité », à savoir que les couleurs d'une frange donnée vont en s'éloignant de la zone sombre « en sens contraire à l'ordre de leur réfrangibilité » (Fig. 39). Le spectre observé va du violet au rouge et, ainsi, « les premiers [rayons] qui sont les plus foibles [les plus réfractés tels que le violet], semblent par-là se maintenir mieux dans leur direction contre la force étrangère qui agit pour les en détourner, que les derniers, qui sont les plus forts ». Ceci permet à Mairain d'apporter une précision sur le mécanisme de réfraction au niveau des atmosphères et sur la constitution de ces dernières. Il suppose qu'elles comprennent « des parties de différente résistance ou de différent mouvement, qui repoussent les rayons rouges avec plus de force que ceux de toute autre espece ». Pour former une idée de la « possibilité de ce mécanisme », il imagine que

l'atmosphère [...], à mesure qu'elle approche de sa source ou du corps diffringent, augmente de densité, de résistance, ou de réfringence, par exemple en raison inverse des quarrés, des cubes, ou de telle autre fonction des distances ; de manière qu'à une certaine profondeur, en allant de la surface au centre, cette réfringence du milieu croît en plus grand rapport, que la réfrangibilité du rayon ne décroît, en allant du violet au rouge.

Conséquemment, puisque le rayon rouge possède « plus de force » et donc qu'il est « moins réfrangible » que le violet, il s'approche davantage du corps que l'autre et « il ira plutôt rencontrer une couche de l'atmosphère qui le repoussera, & le recourbera brusquement [...] avec plus de force qu'il n'en avoit pour s'en écarter ». Ce rayon croise alors le violet moins dévié, d'où cette répartition « des violets ou bleus intérieurs, & des rouges extérieurs » (*ibid.*, p. 60-61). Enfin, figure chez Mairain l'analogie précédemment évoquée chez Fontenelle convisant à une étude des phénomènes optiques, magnétiques, électriques à l'aide des atmosphères¹.

LA COMPOSITION DES ATMOSPHERES

Pour Mairain, si la lumière passe dans des milieux où la densité diminue, elle va « d'un milieu qui lui résiste moins, sur un qui lui résiste davantage », par exemple du verre dans l'air (*ibid.*, p. 25) ; la « densité » renvoie ici à la quantité de matière propre du corps, la vitesse d'un rayon devant être plus grande dans les milieux de plus grande densité². Les « inflexions » des différents rayons lumineux résultent de « la composition ou hétérogénéité de l'atmosphère » (*ibid.*, p. 60). La nature même de ce milieu dépend de la « contexture des corps » ou « des mélanges de matière qui les composent », ces éléments influençant la réfringence de l'atmosphère de même que « les mouvemens » en son sein. Dans son analyse de la diffraction autour du cheveu, Mairain suppose que la densité de l'atmosphère décroît en s'éloignant de son centre ; Fontenelle fait l'hypothèse inverse en s'inspirant très probablement de Molières. Il existe ainsi différentes conceptions sur ce gradient de densité. Par ailleurs, bien que Mairain estime que l'éther existe sous la forme de petits tourbillons, et bien qu'il évoque des « mouvemens » dans les atmosphères, il ne détaille pas la structure de celles-ci à l'aide de ces tourbillons ; il semble s'en tenir à la seule expérience pour émettre notamment l'hypothèse que dans une atmosphère la « réfringence du milieu croît en plus grand rapport,

1 *Ibid.*, p. 55 : « on ne voit point, il est vrai cette atmosphère, ou ce nouveau milieu ; mais le détour de la lumière, auprès du corps *Diffringent*, ne permet pas de douter qu'il n'existe, à moins qu'on ne suppose que le changement de direction arrivé à ces rayons, qui sont matière, leur est survenu sans l'opposition d'aucune matière dans le lieu où c'est fait le détour. Voit-on mieux, & n'admet-on pas cependant, la matière magnétique & électrique autour d'un Aiman, ou d'un morceau d'Ambre ? »

2 Mairain évoque aussi dans ce mémoire « l'immersion [de la lumière] d'un milieu plus dense ou moins résistant, du verre, par exemple, dans un milieu moins dense ou plus résistant à la Lumière, & tel que l'air » ; le terme « densité » est ici relatif à la matière propre du corps envisagé (du verre ou de l'air) et non à la matière subtile, *ibid.*, p. 30. Densité de l'atmosphère (ce qu'elle comprend de parties hétérogènes à la matière subtile), résistance et réfringence s'avèrent aussi synonymes, *ibid.*, p. 61.

que la réfrangibilité du rayon ne décroît » afin de rendre compte des franges du spectre. *A contrario*, pour Molières, Launay ou Keranflech, il s'agit certes d'intégrer ces phénomènes au sein du mécanisme – bien que ces auteurs n'approfondissent pas véritablement le phénomène de diffraction –, mais aussi de conférer à ces atmosphères la structure jusqu'à présent attribuée à la matière.

Ces « atmosphères » permettent de rejeter l'interprétation de l'inflexion en terme d'attraction car « on doit toujours rapporter les effets que l'on considère, aux lois de Mécanique, & n'avoir jamais recours à des forces purement Métaphysiques »¹. Après l'évocation du mémoire de Mairan de 1738 comme caution scientifique légitimant l'usage des atmosphères, Launay développe une analogie déjà rencontrée dans les *Leçons* de Molières :

le verre est environné d'une petite atmosphère, dont la densité diminue à mesure qu'elle s'éloigne du verre. En effet tous les Physiciens conviennent que la cause des crépuscules, ou la raison pourquoi le Soleil paroît sur l'horizon avant que d'y être parvenu, est que les rayons de lumière souffrent une inflexion, & c'est encore une chose avoué que cette inflexion vient de l'atmosphère qui entoure la terre, dont la densité diminue à proportion qu'on l'éloigne de la superficie de cette Planete [...] Or c'est une maxime constante chez Newton, *qu'il faut attribuer les mêmes effets aux mêmes causes* ; on doit donc avouer que c'est avec raison, qu'on attribue l'inflexion que la lumière souffre sur la surface du verre, à une atmosphère qui l'entoure. Cette hypothèse d'ailleurs n'a rien que de très-conforme à la vraie Physique. Car chaque corps sensible étant en tout semblable au grand Globe de la terre, quoique sans comparaison plus petit, il n'est pas surprenant, qu'il soit environné d'une atmosphère à peu près semblable à celle de la terre (*ibid.*, p. 287-288)².

Keranflech note que « personne ne doute actuellement que tous les corps particuliers n'aient des atmosphères qui les entourent, comme la terre est enveloppée de l'atmosphère où nous vivons, & que nous respirons avec l'air »³. Les atmosphères se composent « des mêmes principes & des mêmes éléments que les solides dont elles dépendent ». Ainsi, l'atmosphère terrestre comprend des éléments de toutes les espèces de corps présents dans la terre et « ce qui est en grand autour de la terre, est en petit & en abrégé autour de chaque corps particulier » :

chaque corps particulier [...] est accompagné d'une infinité de petits corps, tous semblables à ses propres principes, qui remplissent les pores de sa masse, & l'entourent en dehors à une certaine distance, sans se dissiper d'avec elle ; parce que leur homogénéité entr'eux & aux principes du corps, jointe à la différence d'entr'eux & le milieu environnant, fait que celui-ci les emboîte, pour ainsi dire, & contribue par son ressort à les tenir ensemble (*ibid.*, p. 210)⁴.

Cette « hétérogénéité » résulte d'une différence d'ordre et donc d'élasticité des tourbillons. En effet,

il faut bien remarquer que les petits corpuscules de ces atmosphères sont eux-mêmes de petits tourbillons différemment chargés de globules, & qui balancent avec l'éther, chacun avec l'ordre dont il est (*ibid.*, p. 211).

Ainsi, les atmosphères se composent de « principes » et d'« éléments », à savoir de petits tourbillons comprenant des corpuscules, des tourbillons qui sont aussi constitutifs des corps dont ces atmosphères remplissent les pores et qui sont équilibrés par des tourbillons d'éther.

1 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 286-287.

2 Concernant Molières, voir la section portant sur l'inflexion dans le présent chapitre.

3 Keranflech, *L'hypothèse des petits Tourbillons*, p. 209.

4 Ces « principes » correspondent à des corpuscules solides au centre de petits tourbillons dont l'assemblage forme les corps sensibles. Les « petits corps » de l'atmosphère ont des tourbillons du même ordre que ceux qui composent le solide. Voir Partie II, Chapitre III.

Pour Keranflech, la compréhension de la nature physique de ces milieux passe par celle de la genèse des corps solides. Tout d'abord, un liquide correspond à un amas de tourbillons chargés de globules pesants en leur centre et « chaque ordre de matière éthérée peu faire le fond d'une liqueur » ; en somme, il existe autant de types de liqueurs qu'il se rencontre d'ordres de tourbillons (*ibid.*, p. 83-84)¹. Tant que « les petits tourbillons qui composent une liqueur ont assez de matière fluide pour faire circuler rapidement les globules pesants qu'ils entraînent, cette liqueur conserve sa liquidité ». Mais,

si quelque cause venoit à diminuer la quantité de matière fluide [...] alors les globes pesants, ou autres molécules solides, se rapprocheroient, pourroient se toucher, s'embarrasser, couvrir les petits tourbillons d'un pôle à l'autre, & former à l'entour de chacun une enveloppe ou une sphère creuse, au dedans de laquelle circulerait toujours la matière fluide qui lui resteroit, mais qui ayant sa surface désormais ralentie, froteroit nonchalamment ses voisins aussi engourdis qu'elle : & à la fin elles se froteroit tant, qu'elles demeureroient dans un repos respectif. Puis, au moyen de leur contact & de la compression du milieu environnant, elles composeroient un corps dur dont la dureté pourroit être de différent degré (*ibid.*, p. 105).

Ce mécanisme explique « la formation des métaux, minéraux ou autres solides » (*ibid.*, p. 106)² et Keranflech souligne qu'

il est aisé de s'imaginer que dans une quantité de globules qui se trouvent réunis pour former un métal, tous ne sont pas également dépouillés de leur matière fluide, & qu'il y en a encore qui conservent des restes de tourbillons où ils nagent ; ou bien, il est aisé de concevoir que parmi les petits tourbillons de matière éthérée qui se réunissent pour faire un métal, tous ne sont pas également accablés de globules durs, & qu'il y en a encore qui conservent des restes de circulation plus ou moins grands : ce qui ne les empêche pas de s'incorporer dans la masse du métal, & d'en être comme les autres. Mais ces espèces de volontaires ont cependant quelque affinité avec ceux qui y sont engagés. Ils y demeurent auprès d'eux, ils ne les quittent point, ils remplissent les pores de la masse, ils regorgent autour d'elle ; & leur homogénéité avec ses parties & entr'eux empêche qu'ils ne se dissipent au loin, & qu'ils ne se mêlent avec d'autres choses. C'est en cela que consiste l'atmosphère d'un métal. Les minéraux en ont aussi sans doute, & tous les corps solides apparemment en ont plus ou moins suivant cette même voie (*ibid.*, p. 114-115).

Le phénomène de réflexion nécessite la présence « d'objets plus denses, c'est-à-dire plus grossiers, moins élastiques, moins propres à se mouvoir comme elle [la lumière], & propres par leur solidité à lui servir de point d'appui » (*ibid.*, p. 75) ; « les tourbillons sont plus chargés & plus embarrassés de matières hétérogènes, & ont par conséquent moins de ressort », ce qui entraîne une moindre vitesse de propagation de la lumière (*ibid.*, p. 76)³. Molières évoque les pores des corps transparents remplis de matière éthérée « plus dense lorsque la densité de ces corps est plus grande »⁴. La densité des atmosphères diminue en fonction de l'éloignement des corps, « puisque la source [de ces atmosphères] est originairement dans l'intérieur même de la masse ; & qu'on voit, dans tout autre cas semblable, comme dans les atmosphères des corps vivans, dans celles des corps odoriférans, que les corpuscules sont plus rares au loin de la surface des corps, qu'ils sont en plus grande quantité auprès d'elle, & peut-être plus denses en eux-mêmes [dans les corps] »⁵. Molières évoque « une espèce broüillard répandu sur toute la superficie de ces corps »⁶. L'article

1 A noter qu'« on peut concevoir aussi que ces ordres de petits tourbillons lestés de la sorte demeurent néanmoins emboîtés les uns dans les autres, comme les satellites de jupiter font dans le tourbillon de cette planète », et qu'ainsi une liqueur d'un ordre particulier en contient d'autres d'ordres différents, *ibid.*

2 Sur ces corps solides, voir Partie II, Chapitre III.

3 Cette moindre élasticité ne signifie pas qu'à ces tourbillons ne s'appliquent pas les règles des collisions des corps parfaitement élastiques, mais que chargés de corps hétérogènes ils ne transmettent pas la lumière à la même vitesse qu'ils le feraient dans un éther sans corpuscules.

4 Molières [1739], Leçon XX, Proposition VI, p. 497.

5 Keranflech, *L'hypothèse des petits Tourbillons*, p. 115.

6 Molières [1737], Leçon XV, p. 374.

« Atmosphère » de l'*Encyclopédie* renvoie à l'entrée « Emanations » qui se définissent comme des « des écoulements, ou exhalaisons de particules ou de corpuscules subtils, qui sortent d'un corps mixte par une espece de transpiration », D'Alembert prenant aussi l'exemple des « corps odoriférans »¹.

La variation de densité s'explique par une plus ou moins grande concentration de tourbillons pesants ; elle implique alors une moindre vitesse de transmission de la lumière dans les corps transparents selon le modèle de chocs élastiques de files de corps. Ces auteurs conçoivent que l'existence et la nature des atmosphères résultent de la formation de l'univers même ; elles possèdent donc la même structure intime que la matière et se composent alors de petits tourbillons chargés de corpuscules.

CONCLUSION : EQUILIBRE, DESEQUILIBRE, ATMOSPHERES ET COLLISIONS ELASTIQUES

Le rejet de l'optique de Newton est avant tout celui des forces à distances et les résultats de ses expériences requièrent une interprétation à l'aide du « mécanisme réformé ». Mais les philosophes mécanistes ne sont pas non plus exempts de critiques. Celles à l'encontre des explications de Descartes s'appuient sur des éléments expérimentaux (voir l'usage de Le Monnier par Béraud) et sur des arguments déjà rencontrés, qui consistent à dénoncer l'usage de corps aux formes arbitraires et l'absence d'une permanence du mouvement dans son système, dénonciations qui reposent aussi sur le recours à un principe de simplicité. Par ailleurs, si Huygens fournit des méthodes (celle des ondes, les règles du choc pour comprendre le comportement de l'onde lumineuse), il n'expliciterait pas les raisons de l'élasticité des corpuscules de son éther selon Molières, Béraud et J. (II) Bernoulli. Nollet et Jallabert s'appuient sur des mécanismes basés sur une matière subtile mais sans recourir aux petits tourbillons : de telles explications seraient probablement soumises aux mêmes critiques que celles adressées à Huygens. Enfin, la nature des atmosphères se voit repensée à travers le système des petits tourbillons. Ce système offre alors le cadre théorique intégrant à la fois des développements expérimentaux (de Newton, Dufay, Réaumur, Nollet), des acquis newtoniens (la forme mathématique de la loi de gravitation) et d'autres mécanismes proposés par des savants tels que Nollet et Jallabert.

Malebranche est à l'origine des explications physiques basées sur des petits tourbillons. Ceux-ci servent à des savants pour étudier des domaines déjà abordés par le philosophe (la pesanteur, l'optique) et d'autres qu'il n'a pas explorés (magnétisme, électricité). Des explications s'écartent de celles proposées par Malebranche ; par ailleurs, un même phénomène peut donner lieu à des mécanismes de petits tourbillons différents de la part de différents savants ou bien au sein d'une même œuvre. Il semble cependant possible de dégager un certain nombre d'éléments communs.

METHODES ET PRINCIPES

Les méthodes mises en œuvre pour interpréter les phénomènes reposent sur des différences de forces de petits tourbillons qu'elles impliquent des atmosphères (1) ou non (2). Ces différences peuvent causer des déséquilibres d'où résultent des mouvements affectant les tourbillons et les corps jusqu'à un retour à une configuration d'équilibre du système. De tels mouvements s'expliquent par ce principe général que tourbillons et mobiles migrent vers l'endroit où ils sont le moins pressés, ou encore là où il se fait le moins de résistance. Un tourbillon peut aussi avoir moins de force qu'un autre en ce sens que, dans une atmosphère, il

¹ D'Alembert, « Emanations », *Encyclopédie*, t. V, p. 545b-546a.

porte des corpuscules le rendant pesant et lui faisant alors transmettre moins rapidement une pression que ça n'est le cas dans l'éther pur : les règles de collisions parfaitement élastiques régissent alors la manière dont se propage cette pression.

(1) Les atmosphères renvoient à des différences locales de densité de matière, différences dont il est fait deux usages :

– un milieu dense correspond à celui dont les tourbillons comprennent des corpuscules hétérogènes à l'éther. Par l'intermédiaire des règles de collisions élastiques, les variations de densité justifient alors celles des vitesses/directions de propagation des ondes lumineuses dans différents milieux (Molières, Launay, Keranflech).

– la mise en présence de deux atmosphères de corps de densités différentes, à savoir comprenant des tourbillons de forces centrifuges distinctes, entraîne des déséquilibres à l'origine des mécanismes des phénomènes magnétiques et électriques.

Sur ce dernier point, soulignons tout d'abord qu'un corps est équilibré au sein de son atmosphère ; en le plaçant dans l'atmosphère d'un autre, son atmosphère peut être moins pressée d'un côté et l'éther environnant peut agir afin de retrouver une situation équilibre pour l'ensemble (comme l'explique Molières pour les attractions-répulsions électriques de feuilles d'or¹). Lors du rapprochement d'aimants de pôles différents, il s'opère manifestement un reflux de l'éther situé entre eux lequel se joint avec l'éther environnant qui presse ces corps et tend à les associer (Molières, Béraud). La répulsion d'aimants se conçoit avant tout à travers le choc de fluides élastiques de mouvements contraires, qu'il s'agisse des mouvements des petits tourbillons ou de l'éther traversant les corps (Molières, Béraud, Keranflech). L'aplatissement des atmosphères lors de ces chocs peut expliquer une perte d'équilibre des corps au sein de chacune des atmosphères, équilibre qu'ils recouvrent grâce à la pression de l'éther extérieur (comme c'est le cas autour des feuilles d'or subissant une attraction électrique chez Molières). Par ailleurs, la matière magnétique plus dense (en plus grande quantité et/ou possédant plus de force) dans un corps que dans un autre se répand dans ce dernier : ceci explique l'aimantation (Molières, Béraud). Un gradient de pression fonde aussi le changement de polarité (Keranflech). Ainsi, dans tous les cas, une différence de forces et un retour à l'équilibre génèrent la mise en mouvement de la matière magnétique puis des corps.

De la même manière, l'électrisation par « communication » se fonde sur un gradient d'éther d'où résulte un flux correspondant à la migration de tourbillons plus « forts » vers les pores d'un corps comprenant d'autres tourbillons moins « forts » ; ces derniers reçoivent alors du mouvement et, en se dilatant, ils créent une atmosphère. L'atmosphère électrique comprend un double flux de pression de « filets » de tourbillons déterminé par la structure physique des corps électriques. Du corps électrisé sortent des tourbillons qui migrent dans les pores d'une feuille d'or qui, en y rencontrant d'autres tourbillons, perdent de leur force et ne sont plus ainsi en mesure de soutenir la feuille. Les attractions et répulsions entre matière « vitrée » et « résineuse » s'expliquent par les différences de forces des filets de tourbillons de leurs atmosphères. Par ailleurs, les variations de « ressorts », donc de forces centrifuges, des atmosphères justifient la modification de la « vertu électrique » en fonction du climat (pour tous ces points, voir Béraud). L'attraction/répulsion d'une feuille d'or peut aussi résulter de la création d'une atmosphère avec une répartition non symétrique autour de ce corps : le milieu ambiant tend à rééquilibrer l'atmosphère ce qui conduit au mouvement de la feuille (Molières). Chez d'autres auteurs le mécanisme de l'attraction/répulsion s'inspire de Molières ou repose sur des rapports de forces de flux de petits tourbillons (Keranflech). Par ailleurs, l'électrisation par « communication » s'identifie à une « fermentation » laquelle consiste en

1 Rappelons que Molières considère les « pierres d'aiman » comme des « corps électriques ». L'auteur est peu explicite sur l'attraction des aimants et son propos suggère d'appliquer au magnétisme ce qu'il développe davantage pour les phénomènes électriques.

une rupture d'équilibre de tourbillons : ceci donne naissance à une atmosphère autour d'un corps ainsi qu'à ces flux « effluents » et « affluents » de tourbillons (Keranflech).

(2) Sans l'usage d'atmosphères, des phénomènes s'interprètent aussi via des différences de forces centrifuges entre petits tourbillons ou des différences entre quantités de tourbillons, autrement dit, via des déséquilibres, le processus de retour à l'équilibre permettant d'expliquer le mouvement de corps. Ainsi de la chute libre, les mobiles renfermant moins de tourbillons qu'un pareil volume d'éther étant la source d'un déséquilibre local. Le corps chute parce que ses tourbillons ne contrebalancent pas l'effort de ceux situés au-dessous, effort que produit leur réaction au niveau du centre de la Terre (Bouillet) ; ou bien parce qu'à même volume celui qui contient seulement des petits tourbillons à plus de « tendances » à épaissir une couche d'éther et à se répandre alors au-dessus du corps (Molières, Launay) ; ou encore parce que le corps ne suit pas le flux et le reflux de l'éther et les tourbillons finissent par agir sur lui dans un sens centripète (Gamaches, Keranflech). Le choc repose aussi sur un déséquilibre entre les forces centrifuges des tourbillons intérieurs et extérieurs aux corps (Mazière, Molières).

Ainsi, une différence entre les « forces » de petits tourbillons expliquent les mouvements d'éther à l'origine de ceux des corps solides ou bien expliquent des variations dans la propagation des ondes. Il faut associer le mot « force » à celui de « densité ». Ainsi, un volume d'éther plus dense qu'un autre peut-être : 1/celui dont les tourbillons sont plus comprimés et possèdent alors davantage de forces centrifuges ; 2/celui dont les tourbillons portent des corps pesants ce qui conduit à des « petits tourbillons ralentis » moins « vifs » et transmettant alors moins promptement une pression (Molières, Keranflech). Enfin, selon les savants, la densité de la matière affecte différemment celle des tourbillons et, par ailleurs, la configuration des corps rend compte de répartitions de densités d'éther différentes.

MODELES MECANIKES ET MATHEMATISATIONS

Comment interviennent les tourbillons dans les mathématisations de phénomènes ?

Pour la chute, une même quantité d'éther remplace à chaque instant l'espace laissé libre par le corps et, pour les chocs à « ressorts » parfaits, le flux d'éther sortant d'un corps lors de sa compression égale en quantité le reflux nécessaire à son rebond. Par ailleurs, ces deux phénomènes impliquent le recours à des tourbillons de même « force ». Ces mouvements d'éther, à savoir des circulations de mêmes quantités de fluide dans des durées égales, requièrent une parfaite fluidité du milieu. Molières et Launay donnent le détail des « tendances » des circulations des petits tourbillons autour d'un corps dans un fluide afin de justifier l'accélération de la chute libre. La constance locale de l'accélération, autrement dit de l'effet de la pression exercée en temps égaux par l'éther, résulte des hauteurs et des durées de chute très courtes. Une fois cette constance fondée mécaniquement, il ne reste qu'à appliquer les règles de cinématiques usuelles pour obtenir l'expression mathématique de la loi de chute. Les travaux de Gamaches montrent les limites d'un modèle mécanique du choc lorsqu'il établit l'identité entre l'accélération d'un corps en chute libre et celle de l'éther : il recourt aux règles de collisions des corps durs pour un fluide qui pourtant par ses propriétés ne possède pas de masse. Le même type de difficulté se rencontre chez Molières et Launay. Ainsi, les réflexions lumineuses se produisent au niveau des pores des corps et résultent de tourbillons « incomparablement » plus denses/pesants que ceux de l'éther pur. Ces deux savants utilisent ce même argument pour fonder la réfraction or, en suivant ce raisonnement, puisque les tourbillons dans les pores des corps sont toujours « incomparablement » plus pesants que ceux de l'éther, un rayon ne devrait pas se réfracter. Les règles du choc ne servent alors pas véritablement à modéliser le comportement des tourbillons puisque ces derniers ne pèsent pas.

La constance de la force des tourbillons d'un milieu, et donc l'équilibre de celui-ci, assure la constance de la fréquence d'une onde dont la propagation s'interprète par la contiguïté des petits tourbillons ou la juxtaposition de « fibres lumineuses » (Bernoulli). La propagation rectiligne de la lumière s'explique par la « Méthode des Ondes » de Huygens (Molières, Launay, Keranflech) ou par l'usage de ces « fibres » qui définissent des directions rectilignes (Bernoulli). Bernoulli donne alors une certaine matérialité à la lumière, sans doute redevable en cela à Newton, matérialité contraire aux thèses de Malebranche.

La « Méthode des Ondes » permet d'établir les lois de réflexions et de réfractions en suivant les techniques mises en place par Huygens : l'interprétation mécanique en terme de choc/propagation de pressions de boules élastiques (les petits tourbillons) fonde ces lois (Molières, Launay, Keranflech, ce dernier pour la réflexion). L'égalité entre les angles d'incidence et de réflexion est d'abord établie géométriquement (en considérant que les rayons réfléchis sont normaux au front d'onde et qu'ils se propagent à la même vitesse que les rayons incidents) et s'interprète à l'aide des lois des chocs obliques de corps parfaitement élastiques sur une surface fixe (ici des tourbillons supposés de masses infinies par rapport à ceux de l'éther). La loi de réfraction passe aussi par une construction géométrique du front d'onde en supposant connu le rapport des vitesses des rayons dans deux milieux différents ; les chocs élastiques sur des files de boules de masses différentes fournissent une interprétation mécanique des différences de vitesses dans les milieux. J. (II) Bernoulli obtient cette dernière loi à l'aide d'un modèle statique d'équilibre de forces : il faudrait ainsi voir cette réfraction comme le maintien d'un équilibre entre fibres lumineuses dans différents milieux.

Les variations continues de densités au sein des atmosphères rendent compte des courbes des rayons lumineux observées lors de réfractions et de réflexions ; une analogie balistique permet de figurer les trajectoires où l'éther, à l'instar de la pesanteur, fléchit les trajectoires. Là encore, le choc oblique élastique semble fonder la réflexion dans le prisme, la composante normale de la vitesse s'annihilant en traversant des couches d'atmosphère, cette dernière finissant par réfléchir le rayon ; ces auteurs ne donnent pas mécaniquement les raisons de l'existence d'un angle limite de réfraction. La diffraction s'identifie à une succession de réfractions rendant compte de la déviation de rayons à partir d'une répartition de l'atmosphère autour d'un cheveu telle que la matière plus dense soit à sa périphérie (Molières, Launay, Fontenelle). Une telle répartition en densité est posée (Molières, Launay, Fontenelle) ou justifiée en fonction de la structure interne des corps (Béraud, pour les corps électriques). Les expériences de diffraction suggèrent à Mairan des « possibilités » concernant des lois d'évolution de la densité des atmosphères autour des corps diffringents.

J. (II) Bernoulli associe les couleurs aux masses de corpuscules qu'il relie aux fréquences d'oscillations – causées par les tourbillons – des fibres lumineuses. Il obtient une relation à partir d'une adaptation du problème des cordes vibrantes lui donnant une formule tirée de chez J. (I) Bernoulli, formule combinant la fréquence, la masse de la corde – qui devient celle d'une fibre lumineuse –, la force qui la tend – qui devient celle de la compression constante des tourbillons du milieu –, sa longueur – qui devient celle de la fibre. Bernoulli en conclut qu'une fibre plus « forte », soit celle qui vibre le plus rapidement, comprend les corpuscules les plus petits qu'il associe alors à la couleur rouge qui est la moins déviée lors de la réfraction. Un développement quantitatif de cette nature n'apparaît pas chez les autres auteurs ici étudiés.

CRITIQUES DU SYSTEME DES PETITS TOURBILLONS

« *Donnez moi de la matière & du mouvement, je ferai un monde*, dit le grand mais très-courageux Malebranche »¹

« *l'ouvrage des Leçons de Physique est un Chef-d'œuvre d'imagination [...] En effet, ne faut-il pas avoir une grande subtilité d'esprit, & une grande vivacité d'imagination pour élever aussi haut que l'a fait l'Auteur, un pur Château de cartes ?* »²

INTRODUCTION

Les citations ci-dessus, qui visent les systèmes de Malebranche et de Privat de Molières, révèlent l'existence de critiques adressées spécifiquement à l'encontre des petits tourbillons. La période de 1737 à 1742, année du décès de Molières, est le théâtre d'échanges polémiques par voie de presse, par le biais de livres, ou encore au sein de l'Académie royale des sciences de Paris, des disputes impliquant notamment, d'un côté, Jean Banières, Louis Bertrand Castel, Pierre Sigorgne, Etienne Hyacinthe de Ratte, Nollet et D'Alembert à, de l'autre, Molières et Launay. Ce chapitre vise à restituer ce contexte.

Ces critiques peuvent avoir pour fonction de « détruire le principe général & la base de tout le système » des tourbillons, à savoir le « mouvement circulaire » servant de fondement à toutes les explications³. Il s'agit alors de réfuter que des petits tourbillons puissent se former en supposant la matière fluide originelle sans force comme la conçoit Malebranche⁴. Il s'agit aussi de réfuter que les tourbillons s'équilibrent mutuellement. Un autre angle d'attaque consiste à dénoncer le « grand nombre de contradictions » renfermées dans le livre de Molières en suivant « l'ordre des volumes » et l'enchaînement de leurs propositions⁵.

De telles critiques sont donc essentiellement d'ordre théorique, elles dénoncent l'incompatibilité de certaines explications avec les lois de la mécanique ou dévoilent des incohérences intrinsèques au système. Un des thèmes essentiel concerne alors les forces centripètes, la théorie montrant l'impossibilité qu'un fluide en rotation dans une sphère creuse

1 *Démonstration Physico-Mathématique de la vérité des grands Tourbillons, & de la fausseté des petits Tourbillons de Malebranche, contre l'hypothèse du Vuide & de l'attraction*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Juin 1739, Paris, 1739, p. 1261.

2 Sigorgne, *Replique a M. de Molières*, « Avis » (non paginé).

3 Sigorgne, *Examen & Refutation*, « Avertissement » (non paginé).

4 Sur ce point, nous avons constaté que Molières suppose que Dieu a créé directement le système des tourbillons équilibrés et que ce dernier ne se forme pas à partir des seules lois du mouvement (voir Partie II, Chapitre II). Pour Sigorgne cette thèse s'avère spéculative car si ce système résulte d'un décret, Dieu aurait très bien pu faire en sorte que les corps s'attirent mutuellement sans recourir à un fluide et à des impulsions comme mode d'action ; cette critique reprend finalement celle développée par Maupertuis et D'Alembert (voir Partie I, Chapitre III). Sigorgne écrit que « c'est un grand préjugé contre la conservation du Tourbillon que l'impossibilité de sa génération mécanique » et que « c'est s'éloigner de la maxime fondamentale de la Physique, que de supposer que Dieu a fait tout d'un coup, ce qu'il auroit pû exécuter à l'aide des loix générales », voir Sigorgne, *Replique a M. de Molières*, p. 14. Sigorgne et Castel ne tiennent manifestement pas compte de cette thèse de Molières et, comme nous le constaterons dans ce chapitre, ils montrent que la matière sans résistance ne peut pas donner mécaniquement naissance à des tourbillons.

5 Sigorgne, *Examen & Refutation*, « Avertissement ». Voir aussi p. 144-145 : « pour réfuter quelques propositions des leçons de physique, je me suis souvent servi de celles que j'avois déjà réfutées ; & [...] je les ai supposées comme exactement vraies, ce qui pourroit faire penser que je suis tombé en contradiction. Cependant si l'on considère que mon dessein est uniquement de montrer que le nouveau système des tourbillons *n'est point une chaîne de propositions si exactement déduites les unes des autres, qu'il ne soit pas possible de s'en détacher*, on comprendra aisément que pour le remplir, il me suffit de faire voir que les principes en sont faux, les conséquences mal déduites, & enfin les propositions en sont souvent contradictoires entr'elles ».

puisse donner naissance en chacun de ses points à de telles forces. Dans ces conditions, c'est tout l'édifice qui est remis en cause puisque ces forces rendent compte d'un équilibre mutuel entre tourbillons, puisqu'elles permettent de retrouver la troisième loi de Kepler et la loi newtonienne d'attraction, puisqu'elles justifient aussi bien la formation des planètes que celle des corpuscules entrant dans la composition des corps sensibles tant solides que fluides. Par ailleurs, des expériences montrent aussi que ce fluide génère seulement une force orthogonale à l'axe de rotation. La validation par l'Académie royale des sciences des expériences de Nollet portant sur cette question est un désaveu pour les systèmes fondant la pesanteur sur l'action de fluides et, en particulier, un désaveu pour celui des petits tourbillons.

Ces derniers subissent aussi le sort réservé aux systèmes au milieu du XVIII^e siècle, ce dont témoignent des passages de l'*Encyclopédie*. Mais les appels à la « modestie » du physicien devant s'abstenir de faire des « hypothèses » et recommandant de ne s'en tenir qu'aux « expériences » ne sont pas le fait de seuls savants favorables à la science de Newton. Ainsi, Nollet vise manifestement à extraire le mécanisme de considérations trop systémiques et bien qu'il utilise un fluide subtil il ne lui attribue pas d'autres propriétés que celles qu'il estime tirées de l'expérience. De la même manière, Ratte évoque l'existence d'un fluide tout en reconnaissant l'impossibilité de fonder la pesanteur à partir de celui-ci, le savant prônant alors avant tout de s'en tenir aux effets que dévoilent les expériences. Le fluide subtil ferait alors figure de support rendant pensable des phénomènes – l'impulsion serait préférable à l'attraction. Enfin, Castel réfute les petits tourbillons et paraît soutenir le système de Descartes, l'auteur considérant que par son refus d'attribuer une force à la matière au repos Malebranche ouvre la voie au triomphe de Newton.

EQUILIBRE ET STABILITE DU SYSTEME DES TOURBILLONS

Avant de livrer des critiques détaillées de propositions des volumes I, II et IV des *Leçons de physique* de Molières, Sigorgne énonce trois « propositions générales » ayant pour but de réfuter l'existence du système des petits tourbillons : 1/l'équilibre global de ce système ne peut pas exister ; 2/la circulation des petits tourbillons s'avère impossible ; 3/les tourbillons se « dissipent » sous l'action de leurs forces. Ensuite, Sigorgne examine des propositions particulières des *Leçons* en en dénonçant l'impossibilité au regard des lois de la mécanique ou en montrant que certaines sont incompatibles entre elles. Ce second volet de la critique tourne essentiellement autour des forces centrales. En s'appuyant aussi bien sur la théorie que sur des données expérimentales, Sigorgne montre notamment que ce système ne peut pas donner naissance à de telles forces ; qu'en admettant ces forces, il s'ensuit des incohérences dans les explications de Molières ; que chaque point d'une même couche sphérique ne possède pas une force égale et conséquemment que l'équilibre global est impossible ; que si un tourbillon possède plus de force que d'autres, il s'agrandit incessamment ; que cette expansion s'accompagne de pertes de mouvement et que tout le système tombe finalement dans un chaos. Dans tous les cas de figures, c'est la formation du système et sa stabilité qui constituent le fil rouge des critiques. Les paragraphes suivant proposent un examen des objections de Sigorgne, en y joignant d'autres critiques de Banières, de Castel, de Ratte et de D'Alembert, ainsi que les réponses de Molières et Launay¹.

AUTOUR DES « PROPOSITIONS GENERALES » DE SIGORGNE

1 Brunet, « Un grand débat sur la physique de Malebranche au XVIII^e siècle », analyse essentiellement la polémique impliquant Molières, Sigorgne, Launay à l'aune des trois « propositions générales » de Sigorgne. Outre ces « propositions », nous examinons ici d'autres critiques de Sigorgne portant sur les *Leçons de physique* et nous y associons celles d'autres savants.

L'impossible équilibre du système

La première « proposition générale » de Sigorgne stipule que les « tourbillons composés » ne peuvent pas subsister. Il ne fait que reprendre un argument développé par Banières en 1737 dont il cite l'ouvrage¹, argument qui figure aussi sous la plume de D'Alembert dans l'*Encyclopédie*. Banières estime l'existence des petits tourbillons non établie, « quelque étendu qu'on nous dise qu'est leur usage, quelques efforts qu'ait fait un grand Philosophe de nos jours pour les accréditer & pour avancer leur fortune »². Il affirme que « la conservation [des petits tourbillons] ne peut s'accommoder avec les loix de la mécanique », que leur « nature emporte avec soi la destruction », que leurs « propriétés » annoncent leur « ruine » :

comme ces petits tourbillons sont des corps sphériques ou elliptiques, comme en un mot, ces corps sont compris sous des surfaces courbes, ils ne peuvent point se toucher immédiatement par tous les points de leur surface, ils laissent entr'eux des espaces triangulaires, lesquels ne sçauroient être exactement remplis par d'autres tourbillons ; c'est ce qu'on conçoit distinctement. On aura beau multiplier les ordres & les especes de ces petits tourbillons, en placer de plus petits dans les espaces que de plus grands laissent entr'eux, & encore des plus petits entre les espaces que laissent ces derniers, & cela jusqu'à l'infini ; tout ce qu'on gagnera par là, c'est qu'on multipliera les espaces qui deviendront de plus en plus petits, mais ils ne seront jamais totalement remplis. D'où suit nécessairement la destruction des vorticules. Car comme ils ont une grande force centrifuge, & que chacune de leurs parties fait des grands efforts pour s'éloigner du centre de son mouvement, ces parties s'échapperont par ces petits espaces dont nous venons de parler, & du côté desquels ils ne sont pas repoussés ni contre-balancés ; de-là, leur mouvement circulaire cessera, & le petit tourbillon sera détruit ; ce qui arrivera dans tous les points de l'espace qu'on dit être rempli par ces petits tourbillons ; puisque le même inconvénient se trouve dans tous les points de cet espace³.

Pour sa part, D'Alembert écrit qu'

on peut faire contre l'existence de tous ces *tourbillons* cette objection générale & bien simple, à laquelle on ne répondra jamais ; c'est que leurs parties ayant une force centrifuge, s'échapperont nécessairement par les vuides que ces *tourbillons* laisseront entr'eux. L'existence supposée de ces petits corps en annonce la ruine⁴.

Molières réplique à l'objection de Banières que la subdivision des petits tourbillons en d'autres plus petits placés dans les intervalles suffit à « anéantir cette difficulté ». Par ailleurs, même si la matière dans les intervalles n'a pas la forme de petits tourbillons, elle ne peut pas s'« échaper » par les espaces laissés entre des tourbillons pour une « raison purement mécanique » : il faudrait que « la matière dont ces espaces sont remplis, & qui ne laisse pas d'être impénétrable, quoiqu'elle n'ait pas acquis la forme de tourbillon, [...] sorte de ces espaces », or ceci s'avère impossible car « tout est plein ». Cette matière subit l'action d'un tourbillon, mais elle se voit aussi poussée par d'autres « ce qui doit nécessairement produire l'équilibre, & par conséquent la destruction de tous ces efforts contraires ». Ainsi, les « particules » des petits tourbillons rencontrent des obstacles interdisant leur expansion et leur évanouissement : cette destruction du système s'avère impossible à cause de l'impénétrabilité de la matière dans les interstices, de l'impossibilité que cette dernière en sorte du fait d'un univers plein, et du « balancement mutuel » de forces centrifuges opposées entraînant la

1 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. x.

2 Banières, *Traité Physique sur la Lumière & les Couleurs, du Son & des Différens Tons*, Paris, Veuve Mazières, J. B. Garnier, 1737, t. I, « Préface », p. xlv. Selon Molières [1737], « Objection contre l'existence des petits Tourbillons », p. 450, ce « grand Philosophe » est J. (II) Bernoulli qui utilise les petits tourbillons dans son mémoire sur la propagation de la lumière (voir Partie II, Chapitre IV).

3 Banières, *Traité Physique*, p. xlv-xlvij. Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. xj reproduit à quelques variantes près ce passage.

4 D'Alembert, « Tourbillon », *Encyclopédie*, t. XVI, p. 473a.

destruction de leurs effets « à chaque instant »¹. Pour sa part, Launay nie l'existence de ces « espaces vides » : « ces espaces compris entre les petits tourbillons, sont nécessairement pleins d'une matière impénétrable » laquelle « peut avoir acquis la forme de petits tourbillons, ou ne pas l'avoir acquise »² ; par cette impénétrabilité la matière « contrebalancera » tous les efforts centrifuges des petits tourbillons et restera ainsi confinée dans les interstices (*ibid.*, p. 11). Par ailleurs, par « la subdivision des petits tourbillons » qui remplissent les espaces angulaires, subdivision poussée « jusqu'à l'infini », « le vuide qui restera entre ces tourbillons sera infiniment petit, ou ce qui est le même, on pourra le considerer comme nul » (*ibid.*, p. 12-13).

Sigorgne juge incohérentes de telles réponses en se référant à la Proposition XV de la Leçon IV du livre de Molières. Celle-ci stipule qu'un corps dont les « parties » ne formant pas de petits tourbillons placé dans un tourbillon composé pèse vers le centre de rotation³. Or, le fluide sensé occuper les intervalles laissés vacants par les petits tourbillons pouvant remplir de telles conditions, « il est donc absolument nécessaire que cette matière s'approche du centre [...], & qu'elle quitte les espaces angulaires ». D'autre part, l'argument de Molières d'une « parfaite plénitude pour empêcher ce corps [le fluide dans les interstices] de descendre & d'abandonner ces espaces » s'avère inopérant puisque « tout est également plein lorsqu'un corps terrestre se trouve au milieu de l'air ou de l'éther » ce qui ne l'empêche pas de chuter⁴. Par ailleurs, l'idée que « le balancement des petits tourbillons » interdise à cette matière de s'échapper des espaces angulaires « ne peut avoir lieu dans les principes de Monsieur Molières ». En effet, dans l'explication du mécanisme de la pesanteur de Molières « il ne suffit pas que le mobile soit placé dans un espace rempli de petits tourbillons [pour tomber], si ces petits tourbillons ne tendent pas à s'éloigner d'un centre : ou si ces petits tourbillons ne forment pas un grand tourbillon sphérique » ; si ces petits tourbillons ne sont pas dans un tel tourbillon sphérique alors un corps dans ce milieu subit une égale compression des petits tourbillons et, ceux-ci, « ne circulant pas autour d'un centre commun, ne tendront pas à se mouvoir plus fortement vers un point que vers un autre, ils ne pourront pas pousser le mobile vers un point plus fortement que vers un autre, le mobile restera donc dans ce cas au lieu où on l'aura posé »⁵. Or, remarque Sigorgne, « les petits tourbillons entre lesquels se trouve la matière dont il s'agit, tournent autour d'un centre commun : ils font partie d'un grand tourbillon, & ils tendent à se mouvoir plus fortement vers un point que vers un autre » : ainsi, cette « matière anguleuse » ne se voyant pas « également pressée de toutes parts [...] doit descendre »⁶. Dans sa *Réplique*, Sigorgne ajoute que cette matière supposée « déliée, uniforme, en repos » possède toutes les conditions requises « pour qu'elle soit déterminée à circuler autour des centres des [petits] tourbillons qui la touchent » et, alors, elle ne peut exister dans ce système⁷.

Selon Launay, cette matière ne peut pas choir vers le centre de rotation d'un grand tourbillon notamment parce que pour recevoir l'action des petits tourbillons un corps doit être « plus grand » que ceux-ci afin qu'« il donne prise à leur action » : or « la matière anguleuse

1 Molières [1737], « Objection contre l'existence des petits Tourbillons », p. 453-458.

2 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 10. Cette *Réponse* sous la forme de sept lettres a été approuvée par Molières voire en partie demandée par ce savant, voir *Réponse*, p. xv.

3 Molières [1734], Leçon IV, Proposition XV, p. 289 : « Dans un Tourbillon composé de petits tourbillons, si à quelle distance on voudra de son centre, on pose un mobile dur, ou dont les parties ne soient pas en petits tourbillons, quoique ce mobile y circule aussi vite que le volume de matière du tourbillon dont il occupe la place y auroit circulé, le mobile pèsera, ou s'approchera continuellement du centre du tourbillon ».

4 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. xv-xvj.

5 Molières [1734], Leçon IV, Proposition XV, p. 298. Sur ce passage de cette proposition mentionnée par Sigorgne, voir Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. xvij.

6 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. xvij-xviii.

7 Sigorgne, *Réplique à M. de Molières*, p. 41. Autrement dit, les petits tourbillons devraient entraîner cette matière dans leurs mouvements.

doit évidemment être beaucoup plus petite que les tourbillons, puisqu'elle est contenue dans l'angle qu'ils font ». Par ailleurs, il réitère cet argument selon lequel un corps ne peut tomber que si « rien ne l'empêche d'être précipitée vers le centre », or les tourbillons se contrebalancent au point d'éviter la matière de sortir des espaces où elle réside¹.

Outre cette critique d'un impossible équilibre des tourbillons, des auteurs soulignent qu'en cas de déséquilibre ce système ne peut pas retrouver sa configuration initiale. Ainsi, dans un écrit anonyme publié dans le *Journal de Trévoux*, texte que Sigorgne attribue à Castel², l'auteur remarque que « la moindre interruption d'équilibre, est une rupture entière & pour toujours »³. En effet, il ne peut pas exister « de passage de matière » d'un tourbillon vers un autre au niveau d'un de leurs points de contact car « l'équilibre n'est fondé que sur l'intime application d'un tourbillon contrebutté à chaque point de la surface de chaque autre tourbillon : si un passage s'ouvre en un seul point, tout va s'écrouler par là »⁴. Or, les déséquilibres et les retours à l'équilibre des petits tourbillons à la base des explications des phénomènes physico-chimiques requièrent un tel « passage », le tourbillon dit le plus « fort » se saisissant d'une partie de la matière de l'autre afin que l'ensemble retrouve l'équilibre ; c'est en substance la réponse de Molières insistant sur la nécessité d'un déséquilibre pour expliquer les phénomènes, déséquilibre n'entraînant pas pour autant une destruction du système⁵.

Sigorgne cite cet écrit anonyme et fait sienne sa thèse⁶. Par ailleurs, il prend l'exemple de l'agrandissement des tourbillons d'huile à la base des phénomènes de la chaleur et de la lumière⁷. Si un tourbillon reçoit une force et possède ainsi plus de force centrifuge que ses tourbillons voisins du même ordre, il leur prend de la matière, s'agrandit, et passe « d'une plus grande force à une plus petite » mais, note Sigorgne, sans que sa force devienne égale à celle des autres tourbillons d'huile car sinon il y aurait équilibre avec eux et le tourbillon ne changerait donc pas d'ordre. Mais Sigorgne écrit ne pas voir la raison pour laquelle ce tourbillon ne passerait pas par tous les degrés de force possibles dont celui des tourbillons voisins du même ordre. Ainsi, « il est absolument impossible dans ce système qu'un tourbillon du premier élément devienne en s'aggrandissant continuellement aux dépens de ceux du même ordre, tourbillon du second élément », de même « qu'un tourbillon du second élément ne sauroit devenir tourbillon du troisième, ou dans un ordre renversé, qu'un tourbillon du troisième élément ne peut devenir tourbillon du second, ni celui-ci du premier »⁸. Dès lors, les explications mécaniques basées sur des ruptures d'équilibre – « le ciseau universel » de Molières – s'avéreraient illusoires car, d'une part, à partir du moment où il existe une rupture il n'y a plus de retour à l'équilibre possible et, d'autre part, en suivant les principes de ce mécanisme, il serait impossible que des tourbillons changent d'ordre.

Frottements et circulations des petits tourbillons

1 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 15-16.

2 Voir Sigorgne, *Replique à M. de Molières*, p. 36. Sigorgne évoque « les Mémoires de Trévoux, Juillet & Septembre 1739 » ; il s'agit en fait des mois de juin et septembre.

3 *Démonstration Physico-Mathématique*, p. 1258 : « dès que l'équilibre en question ne se soutient, que par l'équilibre même, & qu'il n'existe que parce qu'il existe, tendant toujours avec une force infinie à se rompre : dès qu'il est interrompu, il est rompu, dès qu'il n'existe plus, il ne peut plus exister ».

4 *Ibid.*, p. 1258-1259.

5 Molières, *Réponse de l'Auteur des Leçons de Physique à l'Auteur de la Démonstration Physico-Mathématique*, p. 1679-1687.

6 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 283.

7 Sur ce mécanisme chez Molières, voir Partie II, Chapitres III et IV.

8 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 285-286. Rappelons qu'un tourbillon d'huile (premier élément) peut se transformer en air (troisième élément) lors d'une ébullition. Voir Partie II, Chapitre III.

Sigorgne livre une autre « proposition générale » excluant la possibilité des petits tourbillons. Tout d'abord, il relève qu'en supposant qu'un grand tourbillon se compose de petits, « les circonférences où circulent les points d'un [grand] tourbillon, ne sont pas exactement rondes, il y aura plusieurs enfoncements & plusieurs monticules ». Dès lors,

il ne peut se faire que les points de la couche inférieure faisant leurs révolutions, ne viennent à rencontrer quelques élévations de la couche supérieure ; or parce que tout est plein & que ces points ont d'ailleurs une grande force centrifuge, ils ne pourront descendre au-dessous de cette éminence pour continuer leur circulations ; il leur faudra donc s'arrêter ou rompre cet obstacle & rendre par ce moyen la superficie entièrement sphérique¹.

Launay oppose à ce raisonnement la capacité des petits tourbillons à « changer de figure à la rencontre de quelque obstacle », ce que ne permettent pas les corps durs de Descartes. Par ailleurs, rien n'empêche ces tourbillons « de circuler avec la même force, & la même vitesse » puisque « l'illustre Auteur des Leçons de Physique, a prouvé qu'un tourbillon circulant dans une courbe, ne doit perdre à chaque angle du polygone infinitaire qu'il décrit qu'une quantité infiniment petite de sa force », l'équilibre global se conservant alors². Sigorgne ironise face à une telle réponse qui revendique souplesse et capacité à changer de figure alors que ces tourbillons rendent aussi compte de la dureté : « en vérité ce sont de vrais prothées que vos tourbillons. Faut-il produire la dureté du diamant, &c. ils sont d'une roideur extrême & sans égale ; ce sont autant de petits corps durs : Et en d'autres cas suivant le caprice des hommes, ils sont plus que fragiles »³.

Pour Sigorgne, parce que les petits tourbillons possèdent « une force centrifuge comme infinie » ils ne peuvent pas comme « les corps mols » prendre au moindre choc toute sorte de figures et céder « au moindre effort » ; « puisque ce ressort [des tourbillons] est la cause de la dureté des corps, & que les corps durs perdent, à cause de leur résistance, une grande partie de leurs mouvemens, il est nécessaire, les effets étant proportionnés à leurs causes, que ces petits tourbillons résistent considérablement, & perdent par conséquent beaucoup de leurs vitesses » dans le grand tourbillon⁴. Par ailleurs, suivant Molières, les petits tourbillons qui circulent dans des orbites elliptiques autour des astres peuvent céder de leur matière aux petits tourbillons voisins lors de leurs passages dans des espaces plus étroits ; ils perdent ainsi de la matière et une partie de la vitesse de leur révolution⁵. Pour Sigorgne, lors de ces passages les petits tourbillons voisins de même force et de même taille que ceux qui leurs sont contigus dans ces zones plus étroites ne peuvent pas s'aggrandir car eux aussi ont la même difficulté à circuler dans de tels espaces : il se produit alors « un grand déchet de force & de vitesse dans le total du tourbillon » céleste⁶. Enfin, concernant les frottements que peuvent subir les couches de petits tourbillons, Sigorgne reprend à son compte le contenu des Propositions LI et LII du Livre II des *Principes* de Newton montrant l'incompatibilité entre des circulations uniformes de couches de matière et la troisième loi de Kepler. Ces démonstrations sont basées sur le fait qu'une couche, afin de circuler uniformément, reçoit « autant d'efficace par le frottement de la couche inférieure, pour en être avancée ou accélérée, qu'elle en reçoit en sens contraire par le frottement de la couche supérieure pour en être retardé », et sur ce principe que « la quantité du frottement est égale ou proportionnelle au produit de la vitesse relative avec laquelle les couches voisines se séparent, de l'étendue de ces couches & de la densité des points qui les composent » (*ibid.*, p. 142). Sigorgne remarque que J. (I) Bernoulli ne tient pas compte des surfaces de contact dans son évaluation des frottements. Mais il souligne aussi

1 *Ibid.*, p. xxij-xxiv.

2 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 20-21. Sur cette preuve de Molières, voir Partie II, Chapitre II.

3 Sigorgne, *Replique a M. de Molières*, p. 43-44.

4 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 138.

5 Voir Partie II, Chapitres II et III.

6 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 139-140.

que Molières ne peut pas faire usage de la méthode de Bernoulli pour soutenir le système des tourbillons, car ceci reviendrait à contredire ses propres conclusions : Bernoulli trouve que les temps de révolution des couches sphériques suivent la proportion $r^{\frac{5}{3}}$, alors que selon Molières ces couches respectent précisément la loi de Kepler (*ibid.*, p. 142-144)¹.

Dans sa réponse, Launay insiste à nouveau sur la « souplesse » des petits tourbillons capables de changer de « figure » et, malgré « une très-grande force centrifuge », ils cèdent au moindre effort parce qu'ils s'équilibrent mutuellement². Face à Sigorgne qui affirme que la dureté provient des tourbillons et que « les effets étant proportionnées à leurs causes » ces tourbillons résistent aussi, et donc que leurs vitesses diminuent par des frottements, Launay dénonce un paralogisme : les tourbillons sont « la cause première » de la dureté des corps mais cela ne signifie pas que le fluide doive aussi éprouver dans « ses parties » la « même adhésion » ; « ce fluide lui-même n'apporte point de résistance à sa division » (*ibid.*, p. 173). Launay reconnaît qu'un tourbillon perd de sa matière lors de sa circulation elliptique et qu'il perd ainsi de sa vitesse, « mais la question est de sçavoir si un tourbillon n'aura pas en finissant sa circulation, la même vitesse qu'il a en la commençant », ce qui arrive « dans le mécanisme du tourbillon composé » comme l'a suffisamment établi Molières ; Launay en appelle à l'autorité de l'Académie royale des sciences ayant publié le mémoire de Molières de 1729 traitant de cette question (*ibid.*, p. 174-178)³. Puis les frottements dans la circulation de couches concernent les tourbillons simples mais non les composés : « cette raison du frottement, alléguée par M. Newton » affecte seulement ce premier type de tourbillon (*ibid.*, p. 178-179)⁴. Que Molières ne puisse pas faire usage du raisonnement de J. (I) Bernoulli s'avère alors sans importance, ce dernier ne recourant pas au système des petits tourbillons mais n'usant que de tourbillons simples. Launay énonce aussi à nouveau que la résistance de chaque couche dans un tourbillon composé « ne fait perdre à chaque point circulant, qu'une quantité infiniment petite [de vitesse] du second ordre durant un temps infiniment petit » (*ibid.*, p. 180)⁵.

Enfin, concernant la question des frottements, Launay inverse les termes du débat. Il estime qu'il est « géométriquement démontré » que dans un tourbillon sphérique, sans avoir égard aux frottements, la troisième règle de Kepler est vérifiée. Launay ajoute que « cette règle n'est pas suivie dans toute sa précision géométrique dans le mouvement des astres » et qu'« il est évident qu'il ne faut avoir égard aux frottemens, qu'autant que le mouvement s'éloigne de la règle » : « le mouvement des astres s'éloigne peu de la règle de Kepler » et « il ne faut y [aux frottements] avoir égard tout au plus qu'autant que le mouvement des astres s'en éloigne, ce qui est, à ce qui me paroît, une des plus belles & des plus importantes découvertes que l'on ait fait pour le maintien du système cartésien, qui est le seul qui puisse fournir des raisons satisfaisantes, ou des raisons vraiment physiques & mécaniques » (*ibid.*, p. 183-184). Ainsi, les tourbillons fournissent la cause physique et la démonstration géométrique de la règle de Kepler ; les frottements constituent le paramètre sur lequel jouer pour rendre compte de l'écart entre la théorie et l'observation. Ces frottements, essentiels à la réfutation des tourbillons, changent ainsi de statut et se voient réduits à celui de facteurs se

1 Pour les calculs de J. (I) Bernoulli et de Molières, voir Partie II, Chapitre II.

2 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 171-172. Sur l'argument selon lequel les tourbillons cèdent facilement sans résistance parce qu'ils s'équilibrent, voir Partie II, Chapitre II.

3 Voir Partie II, Chapitre II.

4 Launay prend l'exemple d'une table de marbre posée sur une autre de bois le tout exemplifiant le contact de deux couches d'un tourbillon simple : le glissement ne peut se produire qu'en appliquant « une force très-considérable » à cause du frottement. Mais « s'ensuit-il qu'on doit y éprouver la même difficulté si entre ces deux tables, il y a de petites boules d'ivoire bien polies ? Non. Car l'expérience fera voir qu'alors on fera glisser la table avec une grande facilité, & que la raison du frottement se sera comme anéantie ». Ces « petites boules d'ivoire » jouent ici le rôle des petits tourbillons.

5 Voir Partie II, Chapitre II.

greffant sur un mécanisme préétabli pour justifier l'écart entre le mouvement réel (causé par les tourbillons) et la proposition géométrique (que ces tourbillons permettent d'établir).

La dissipation des tourbillons

La troisième « proposition générale » de Sigorgne stipule que les tourbillons devraient « se dissiper » : « le monde ayant nécessairement des bornes, les tourbillons ne sont point contrebalancés vers ses extrémités, & doivent par conséquent s'échapper à travers ce vide immense qui les touche »¹. Une « croûte dure » enveloppant ces tourbillons pourrait résoudre cette difficulté : selon les principes de Descartes, il suffirait de supposer cette matière créée au repos et « le repos des parties de cette croûte les unes auprès des autres, [...] auroit été un moyen d'en expliquer la dureté ». Mais Molières refuse d'attribuer au repos « une force positive » et, par ailleurs, selon ce savant, la dureté provient d'une pression des tourbillons dans toutes les directions, or cette pression dans l'hypothèse de cette « croûte » ne s'exercerait que selon sa concavité. Supposer « un décret de Dieu » qui retienne ces tourbillons contre leur nature expansive reviendrait à « abandonner le mécanisme »². Pour Sigorgne, en l'absence de « causes occasionnelles » – une cause physique retenant les tourbillons dans leurs bornes – et à cause de cet appel à un décret divin on aurait pu tout autant affirmer que « Dieu a pu aussi-bien établir une loi par laquelle les corps s'attirassent mutuellement » (*ibid.*, p. xxvii-xxx)³.

Launay rétorque que le vide supposé par Sigorgne n'existe pas : « je soutiens avec tous les Cartesiens qu'il n'y a d'espace créé que la seule matière dont tout l'univers a été formé, & c'est en créant cette matière que Dieu a créé cet espace »⁴. Si, en effet, Molières ne pourrait pas expliquer la dureté de cette enveloppe, il n'en a pas non plus besoin, Launay citant un passage des *Leçons* où Molières écrit que « les tourbillons ne se contrebalancent les uns les autres par leur force centrale, que jusqu'aux bornes qu'il a plu à l'Auteur de la nature de mettre à son ouvrage ». Ainsi, « il n'est point du tout nécessaire d'expliquer physiquement les bornes de l'univers, il [Dieu] les lui a données telles qu'il l'a voulu, mais non pas [...] en créant au-delà un espace vuide, ce qui répugne dans le système Cartésien, mais en ne créant qu'un espace fini, & pas davantage, d'où il suit que les tourbillons placés aux extrémités du monde sont la fin de cet espace, & que tout autre espace vuide étant une pure imagination, les tourbillons ne vont point s'étendre dans ce vuide imaginaire » (*ibid.*, p. 28-29). Par ailleurs, Launay nie que ce type de réponse revienne à « abandonner le mécanisme » et à « supposer un décret de Dieu qui retienne les tourbillons contre leur nature [expansive] dans leur lieu propre » car

sans décret particulier de Dieu, ces tourbillons sont retenus dans leurs lieux propres, parce que réellement & à l'extérieur il n'y a point d'autres lieux créés par ces tourbillons que ces lieux propres qu'ils occupent. Tous les autres lieux que nous nous représentons à l'esprit quand nous concevons le monde comme ayant des bornes, ne sont point réels, ils ne sont que des lieux imaginaires, & dans lesquels je puis assurer que les tourbillons Cartésiens ne s'aviseront jamais de s'étendre (*ibid.*, p. 30).

LA CRITIQUE DES LEÇONS II, III ET IV

Les critiques générales précédentes s'accompagnent chez Sigorgne d'un examen détaillé de certaines propositions des *Leçons* de Molières. Sigorgne dénonce essentiellement l'impossibilité qu'un tel système puisse donner naissance à une force centrale. Molières

1 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. xxvii.

2 Telle est notamment l'hypothèse de Mazière, voir Partie II, Chapitre II.

3 Ce raisonnement n'est pas sans rejoindre celui développé par Maupertuis et D'Alembert au sujet de l'impulsion et de l'attraction, la première n'étant pas plus compréhensible que l'autre. Voir Partie I, Chapitre III.

4 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 27.

suppose un tourbillon « simple » placé dans une matière non résistante et étudie l'expansion de celui-ci¹ : pour Sigorgne, du fait de cette absence de résistance des forces centripètes ne sauraient naître. Au demeurant, des expériences de Georg Bernhard Bilfinger et de Nollet confirment que de telles forces n'existent pas dans l'hypothèse de tourbillons célestes. En les supposant malgré tout, Sigorgne affirme, d'une part, que le grand tourbillon ne saurait subsister en l'état et, d'autre part, que les points d'une même couche sphérique ne subissent pas une action de même intensité. Il s'avère alors illusoire de considérer un équilibre dans ce système tout comme d'expliquer la pesanteur. Sigorgne étend certaines de ses conclusions établies pour le « tourbillon simple » au « tourbillon composé ». La méthodologie critique développée contre les *Leçons* consiste alors à souligner l'impossibilité de certaines propositions au regard des principes de la mécanique – ainsi de l'absence de force radiale –, à dénoncer des contradictions internes dans le livre, et à s'appuyer sur des expériences.

Des forces centrales à l'équilibre des couches

Tout d'abord, Sigorgne s'attaque à l'usage fait par Molières de la Proposition I de la Leçon II portant sur la perte de vitesse d'un globule dur sur une surface courbe dont la démonstration se fonde sur la Proposition XV de la Leçon I du choc oblique : « quel usage peut-il [Molières] en faire ? voudroit-il [Molières] sérieusement, ainsi qu'il l'a fait en mille endroits, déterminer par-là le mécanisme de ses vorticules ? »² Pour Sigorgne, lorsqu'un corps dur frappe perpendiculairement la tangente de la courbe qu'il décrit, il ne s'éloigne pas de cette tangente et il poursuit son chemin sur cette courbe, mais rien de tel « pour un petit tourbillon élastique par sa nature » : la combinaison du mouvement de réflexion orthogonale avec celui tangentiel lui fait décrire « en se réfléchissant un angle égal à celui de son incidence ». Ainsi, « ce petit tourbillon au premier choc ne restera plus dans sa courbe, & par conséquent [...] dans un tourbillon composé de petits tourbillons, il n'y aura aucun mouvement réglé ; mais [...] tous les mouvemens y seront confus, croisés & en sens contraires : D'où il s'ensuit évidemment la destruction du tourbillon composé » (*ibid.*, p. 43-44).

Par ailleurs, Sigorgne nie que les forces centrifuges des corpuscules puissent donner naissance à des forces centrales comme l'affirme la Proposition VI de la Leçon II. Molières suppose une sphère de centre *O* (Fig. 13) d'axe horizontal *XZ* autour duquel des globules décrivent des cercles tels que *Cmnn*. Durant ce mouvement ces corps frappent obliquement des plans tangents à la sphère tels que *CE* ceci donnant naissance à une force passant par *O*³. Sigorgne remarque que les corpuscules du plan tangent « sont détachés les uns des autres, l'un peut se mouvoir sans l'autre » : s'ils ne sont pas liés ensemble, une force oblique à ce plan « ne se décomposerait point, & ne s'écarteroit en aucune sorte de la première direction » qu'elle a ; ceci vaut aussi pour des petits tourbillons à la place des corpuscules durs (*ibid.*, p. 50). Puis, rien ne justifie de privilégier la ligne *CE* tangente à la sphère comme le fait Molières car, par exemple, le point *C* frappé est autant un point d'une surface sphérique que d'une surface cylindrique : tout le volume de la sphère comprenant des corpuscules, il apparaît tout aussi légitime de considérer une ligne parallèle à l'axe *XZ* au lieu de *CE* et ce par cette même raison que « les points *C*, *E* de cette tangente [*CE*] ne sont point liés entr'eux, & ils ne composent pas ensemble un corps dur ». Ainsi, un globule pourrait en frapper un autre appartenant à une surface cylindrique or, pour de tels tourbillons cylindriques, de l'aveu même de Molières, il n'existe pas de forces centrales mais uniquement des forces orthogonales à l'axe de révolution (*ibid.*, p. 50-52). Une critique similaire apparaît sous la

1 Voir Partie II, Chapitre II.

2 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 43. Sur ces propositions chez Molières, voir Partie II, Chapitre II.

3 Voir Partie II, Chapitre II.

plume de Castel qui énonce que « dans une matière molle & homogène, les tourbillons n'ont point de force centripète » car

pour que le mouvement naturellement centrifuge d'un tourbillon devienne centripète, il faut que son effort soit soutenu, reprimé & réverbéré de la circonférence au centre. Or une matière molle, qui environne un tourbillon, ne soutient, ne reprime, ne reverbere rien¹.

Pour Sigorgne « dans le tourbillon sphérique il n'y a point de force centrale, mais [...] tout y suit les loix du tourbillon cylindrique ». Puisque, dans l'hypothèse de Molières, la matière sur une même couche circule à une même vitesse, en plaçant un tourbillon sphérique dans une matière au repos et homogène, il s'ensuit que « la force centrifuge étant plus grande vers les poles que vers l'équateur, si le tourbillon s'agrandit, il s'étendra davantage de ce côté-là & deviendra cylindrique »². Ainsi, « dans le tourbillon quel qu'il soit, il ne peut y avoir de force centrale, [...] le mouvement en tourbillon est de soi cylindrique, & [...] un tourbillon sphérique entouré d'une matière déliée, uniforme, en repos, deviendra cylindrique ». A l'appui de ces affirmations, Sigorgne évoque le dispositif expérimental de Bilfinger montrant que dans une sphère remplie d'eau et de bulles d'air mise en rotation, « l'air se rabattoit, non vers le centre de cette sphere, mais vers son axe autour duquel se formoit un noyau cylindrique »³. Pour Castel « le mouvement de tourbillon est de soi plan & simplement circulaire » et « tout au plus ce mouvement [de tourbillon] est cylindrique » : les corps qui composent le tourbillon décrivent des cercles de type $Cmnn$ dans des plans contigus dont les centres appartiennent à un même axe⁴.

Sigorgne écrit que même en accordant « que la force centrifuge [d'un] globule doive se changer en force centrale [...] cette supposition emporte avec elle la destruction entière du tourbillon ». En effet, d'après la Proposition XV de la Leçon I, la décomposition de la force centrifuge de direction IC (Fig. 13) laisse une composante parallèle à la tangente CE qui pousse alors le corps en direction du plan de l'équateur MAN : Sigorgne demande alors « comment il peut se faire que ce globule poussé en même tems vers l'équateur [...] & poussé dans la courbe [$Cmnn$] par sa vitesse horizontale, continue à se mouvoir dans cette circonférence ? » Enfin, en supposant des corps « élastiques » en mouvement le long de cercles comme $Cmnn$, ils devraient « se réfléchir, & faire en se réfléchissant des angles égaux à leurs angles d'incidence » et il en résulterait « des mouvements confus & en tous sens »⁵. Pour Sigorgne, un petit tourbillon agissant selon une force IC , qui se décompose en CE et IE normale à la tangente en C , « se réfléchira au point C avec une force composée des forces IE & CE , & la ligne de réflexion fera du côté de l'équateur un angle avec le rayon OC qui sera égal à l'angle ICO complément de l'angle d'incidence ICE » ; ainsi, « il est impossible [...] que la force centrale [le long de IC] se change en force centripète [vers O] en vertu de la réaction ». La « force centrale » ne devient intégralement « centripète » que dans le plan équatorial et non dans « les autres cercles parallèles » à celui-ci ; dans un tel tourbillon, la force de la pesanteur s'avère donc inégale en des points situés sur différents cercles bien qu'appartenant tous à une même sphère⁶. Castel écrit que « quelque décomposition qu'on

1 *Démonstration Physico-Mathématique*, p. 1268. Castel note que « quelque décomposition qu'on fasse de l'effort centrifuge d'un cercle parallele, par exemple d'un tropique, ou d'un polaire, cet effort est toujours immédiatement dirigé vers le propre centre placé dans l'axe, & non au centre de l'équateur », *ibid.*, p. 1267-1268.

2 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 68-69. Pour cette hypothèse de Molières et pour ce tourbillon placé dans une matière au repos, voir Partie II, Chapitre II. Puisque tous les points d'une couche ont la même vitesse, ceux plus proches d'un pôle ayant des trajectoires circulaires autour de XZ avec des diamètres plus petits ont des forces centrifuge plus grandes.

3 *Ibid.*, p. 166-169. Voir Bilfinger, *De causa gravitatis physica generali disquisitio experimentalis*, dans *Recueil des Pièces qui ont remporté le prix de l'Académie*, t. II, primé par l'Académie royale des sciences en 1728.

4 *Démonstration Physico-Mathématique*, p. 1264-1265

5 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 52-54.

6 *Ibid.*, p. 148.

fasse de l'effort centrifuge d'un cercle parallele [...] cet effort est toujours immédiatement dirigé vers le propre centre placé dans l'axe, & non au centre de l'équateur »¹.

D'Alembert montre aussi que dans « un Tourbillon sphérique ou sphéroïde » les corps chutent vers l'axe de rotation : il juge cette proposition « si claire & si simple par elle-même qu'on ne sauroit assez s'étonner, que presque tous les Cartésiens en ayent contesté la vérité »². Ainsi, selon eux, B choit selon BC et non BG « parce que B est pressé par la colonne GB , non suivant BG , mais suivant CB » (Fig. 40). D'Alembert rend manifeste « l'absurdité » du raisonnement : dans un vase MBD (Fig. 41) rempli d'une liqueur pesante, un corps B moins pesant qu'un même volume de fluide devrait monter selon BC « parce que l'action de la colonne BG est dirigée suivant CB », or « l'Expérience fait voir que le Corps B ne monte pas suivant BC , mais verticalement suivant BG ». Pour D'Alembert, la « méprise » de ces auteurs vient de ce qu'ils considèrent uniquement l'effort de la colonne BG selon BC (Fig. 2) sans prendre en compte l'autre composante dans la direction BK . En considérant ces deux « efforts », B se voit « poussé à la fois suivant BC par l'action des colonnes voisines, & suivant BO avec une force égale à l'excès de force du Canal MA sur le Canal AD » ; BG correspond à la direction de la « tendance » de B selon « ces deux forces »³.

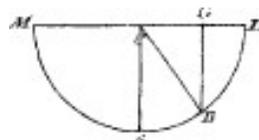
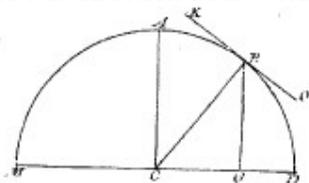


Fig. 40 : D'Alembert, *Traité de l'équilibre* (1744), fig. 155 Fig. 41 : D'Alembert, *Traité de l'équilibre* (1744), fig. 156

Toujours dans l'hypothèse qu'une telle force centripète existe, Sigorgne nie par un autre argument qu'elle puisse être égale en chaque point. Molières remarque que dans une même durée les globules a et c (Fig. 13) frappent A et C aussi fortement, justifiant ainsi une égale force centrale en chaque point de la superficie sphérique. En supposant la circonférence AMN double de Cmn , et puisque a et c possèdent par hypothèse la même vitesse, c accomplit deux révolutions quand a n'en décrit qu'une dans le même temps ; ainsi « ce qui fait que le point A est frappé en tems pareil aussi fortement que le point C , c'est que le seul coup que reçoit le point A durant ce tems, est égal aux deux coups que le point C reçoit durant le même tems ». En somme, c frapperait deux fois C au lieu que a ne choquerait qu'une fois A , mais il posséderait aussi une force deux fois moindre, l'égalité des forces centrales se retrouvant alors⁴. Sigorgne remarque qu'un tel raisonnement ne vaut que si a et c se retrouvent seuls à décrire leurs cercles. Or, « tout est plein » et a et c possèdent une même vitesse : « puisque les circonférences MAN , mcn sont entièrement remplies de globules égaux, le globule a ne sauroit quitter le point A , qu'un autre ne le remplace sur le champ, tout comme le globule c ne sauroit quitter le point C sans être tout d'abord remplacé ; & comme a , c sont supposés circuler avec une égale vitesse, on conçoit que le point A sera en tems pareil frappé un égal nombre de fois que le point C »⁵ ; or, « puisque le point A est frappé plus fortement par le globule a , que ne l'est le point C par chaque coup du globule c , & qu'ils sont tous les deux frappés un égal nombre de fois dans le même tems, on doit penser que la force centrale en A

1 *Démonstration Physico-Mathématique*, p. 1267-1268.

2 D'Alembert, *Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides. Pour servir de suite au Traité de Dynamique*, Paris, David l'aîné, 1744, p. 418. D'Alembert évoque Bilfinger mentionné ci-dessous : il estime que l'expérience n'est pas le « seul moyen » pour prouver que les corps tombent orthogonalement à l'axe et non radialement.

3 *Ibid.*, p. 418-419. La seconde édition de 1770 du *Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides* précise qu'il s'agit de « l'excès de force du Canal MAB sur le Canal AD », voir p. 419.

4 Molières [1734], Leçon II, Proposition VII, p. 127.

5 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 66.

sera toujours double de la force centrale en C » (*ibid.*, p. 65). Ces propositions rendent illusoires « qu'un tourbillon sphérique [puisse] se défendre de toute part avec une égale force » et conséquemment « c'en est fait pour toujours du système des leçons de Physique » (*ibid.*, p. 67)¹.

Rappelons que Molières imagine un tourbillon composé de corps durs englobés dans une surface sphérique qu'il place ensuite dans une matière homogène au repos en ôtant cette enveloppe. Pour Sigorgne, à cause de l'inégalité de forces évoquées ci-dessus, une fois l'enveloppe supprimée le tourbillon ne peut pas s'étendre en demeurant sphérique et l'équilibre des couches sphériques imaginé par Molières lors de cette expansion n'existe pas (*ibid.*, p. 68-70). Par ailleurs, ajoute Sigorgne, les globules qui étaient dans la sphère ne contraignent « les points supérieurs au repos » au mouvement qu'en communiquant le leur ou par une action tangentielle ou par une radiale (en supposant l'existence de forces radiales). Dans la première hypothèse, « les globules supérieurs » ne prennent qu'une vitesse selon cette direction tangentielle et les globules intérieurs communiquent leur vitesse car « un corps dur qui en rencontre un autre au repos, doit lui communiquer toute sa force ». Dans la deuxième, les globules inférieurs ne communiquent aux autres qu'un mouvement rectiligne radial et la « matière au repos » ne constitue pas un obstacle faisant décrire une trajectoire circulaire aux globules « parce que ces globules lui communiqueront du mouvement [...] perpendiculairement vers la superficie du tourbillon » (*ibid.*, p. 70-71). Dans chaque cas, il s'avère illusoire d'obtenir une relation d'équilibre entre couches du type $ps = PS^2$, puisque la force p d'une couche inférieure doit nécessairement se communiquer intégralement et que les globules ne suivent pas de mouvements circulaires. Ces raisonnements, précise Sigorgne, s'appliquent également pour un tourbillon composé de « points élastiques » (*ibid.*, p. 74).

Enfin, Molières suppose dans le plan équatorial de la sphère deux corpuscules de même vitesse et manifestement égaux sur des cercles de diamètres d et D . Le rapport des forces centrifuges conduit à $\frac{F}{f} = \frac{d}{D}$, et Molières prend en compte les sommes des globules sur les circonférences s et S , lesquelles vérifient $\frac{s}{S} = \frac{d}{D}$, relation dont la combinaison avec la précédente donnant $sf = SF^3$. Sigorgne remarque qu'une telle formule ne saurait être établie pour des « globules inégaux » et que la proportion $\frac{F}{f} = \frac{d}{D}$ ne tient donc manifestement pas compte des « masses » mais repose sur des corpuscules égaux. Il souligne que « le principe de cette proposition [$sf = SF$] est que les sommes des globules dans deux circonférences sont entr'elles comme ces circonférences », prémisse qu'il juge « absurde » dans l'hypothèse que « les globules ne sont pas de part & d'autre [à savoir sur les deux circonférences] égaux chacun à chacun » : une circonférence double d'une autre peut contenir autant de globules en supposant « que chaque globule de la circonférence double est pareillement double de chacun de ceux qui se meuvent dans la circonférence sous-double »⁴. Or, justement, Sigorgne rappelle la démonstration de Molières selon laquelle « les petits tourbillons [...] augmentent à mesure qu'ils s'éloignent du centre en raison droite des rayons : ils sont par conséquent doubles dans une circonférence double »⁵. Au-delà de ce que Sigorgne estime être une contradiction interne aux *Leçons*, il soulève le problème des quantités – « masses », « grandeurs » – devant entrer dans la quantification des forces centrifuges de révolution des

1 Argument semblable dans Sigorgne, *Replique à M. de Molières*, p. 24-25. Pour cette proposition voir Molières [1734], Leçon II, Proposition VIII, p. 128 et Partie II, Chapitre II.

2 Avec P et p les forces radiales des points des surfaces sphériques S et s . Voir Partie II, Chapitre II pour cette relation.

3 Molières [1734], Leçon II, Proposition IV, p. 98-106. Voir Partie II, Chapitre II.

4 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 48.

5 *Ibid.*, p. 49. Voir Molières [1734], Leçon III, Proposition III, p. 214-215 : « dans un Tourbillon composé, plus les petits tourbillons seront éloignés du centre du grand Tourbillon, plus ils seront grands ; & leurs Raïons seront entr'eux comme leurs Distances au centre du grand Tourbillon ».

petits tourbillons. Selon Molières la force centrifuge se mesure en prenant en compte une masse, mais il utilise systématiquement une relation de proportion entre cette force et une quantité du type $\frac{v^2}{r}$ alors même que « dans le système de l'Auteur les [petits] tourbillons vont en augmentant vers la superficie » ; Sigorgne en conclut que « tout ce qu'il pourroit avoir démontré dans cette leçon n'auroit aucun lieu dans son système »¹.

Une relation du type $sf = SF$, que Molières généralise au cylindre puis à la sphère, s'avère donc infondée pour Sigorgne, alors qu'elle constitue une étape essentielle conduisant à la formulation de la troisième loi de Kepler : « on ne pourra plus désormais dans ce système démontrer les règles de Kepler » et la loi de Newton en $\frac{1}{r^2}$. Cette critique s'étend naturellement à des auteurs comme Bouillet, Launay, Gamaches et Keranflech pour lesquels ces lois reposent sur des équilibres de couches de tourbillons.

Dans sa *Réplique* de 1741, Sigorgne énonce que le tourbillon sphérique ne possède pas « de force relative à un centre », mais seulement une orthogonale à l'axe de rotation, comme en atteste notamment « l'expérience », Sigorgne évoquant alors Bilfinger mais aussi « cette expérience qui [...] se fait tous les jours chez M. l'Abbé Nolet avec les précautions & l'exactitude possibles » consistant à faire « tourner rapidement sur son axe une sphère de verre remplie d'eau » où on voit des « petites saletez » comprises dans l'eau se rassembler autour de l'axe³. En supposant même l'existence d'une telle force, « elle ne donneroit point par réaction une force centripète » et alors « les Cartésiens modernes se méprennent étrangement lorsqu'ils veulent expliquer la pesanteur par la réaction de la force centrifuge »⁴.

Launay réplique que Molières commence son étude en supposant le mouvement tourbillonnaire compris dans une enveloppe rigide et que conséquemment les points sont liés entre eux, puis que cette première résistance se voit remplacée par « une autre résistance qui vient de la part des tourbillons, & qui n'est pas moins réelle »⁵. Ensuite, il accorde que « la force centrifuge se décomposant, le globule retient encore une tendance réelle vers l'équateur » mais il ne s'agit que de « tendances, qui ne peuvent aucunement détruire la vitesse finie du mobile dans sa circonférence [*Cmn* d'après la Fig. 1] » (*ibid.*, p. 78). Puis, « les loix d'un mobile circulans dans une courbe, conviennent aux corps à ressort tout comme aux corps sans ressort », pour cette raison que le phénomène implique ici « une première pression ». Le corps élastique ne se réfléchit pas comme le suggère Sigorgne, il ne s'agit « que d'une pression continuée à chaque point de la courbe, d'une suite de simples tendances, il n'y aura jamais de débandement actuel [des petits tourbillons], ni par conséquent de réflexion » : il existe donc bel et bien une force centrale sous la forme d'une tendance radiale sans « aucune confusion de mouvemens » (*ibid.*, p. 79 et p. 260-261). Il est ainsi légitime d'appliquer la Proposition I de la Leçon II de Molières énoncée pour les corps durs aux corps à « ressorts ». Le « ressort » ne change rien car il ne s'agit pas « d'un choc complet ; mais seulement d'une première pression » laquelle « est commune aux corps à ressort & aux corps sans ressort, & [...] l'effet en est le même dans les uns & dans les autres » (*ibid.*, p. 61). Enfin, Launay reconnaît que la taille des petits tourbillons augmente en s'éloignant du centre

1 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 45.

2 *Ibid.*, p. 76-77. Voir Partie II, Chapitre II pour ces lois à partir de l'équilibre de couches. Dans sa *Réplique*, Sigorgne prend en compte l'épaisseur des couches des tourbillons en posant « l'épaisseur constante de la plus basse couche = a , & comme les points du tourbillon [céleste] vont en augmentant vers la superficie, soit X l'épaisseur indéterminée & variable d'une autre couche quelconque » ; $s = dda$ et $S = DDX$ correspondent respectivement à « la quantité de matière » ou « somme des points » comprise dans chaque couche. Puisque, d'après Molières, $PS = ps$, il vient $\frac{P}{p} = \frac{dda}{DDX}$. Or, « dans son [Molières] système $X > a$ » car les petits tourbillons sont plus grands dans une couche plus éloignée du centre, ce qui rend impossible la loi de gravitation de Newton telle que Molières la démontre. Voir Sigorgne, *Replique a M. de Molièresp.* 29-30.

3 Sigorgne, *Replique a M. de Molières*, p. 18. Pour cette expérience de Nollet, voir ci-dessous.

4 *Ibid.*, p. 22-23 : « ce n'est qu'à l'équateur que la force centrifuge peut se changer en centripète ».

5 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 75-76.

de révolution, mais il rejette la contradiction que Sigorgne voit chez Molières : « cette (sic) accroissement des [petits] tourbillons se fait par parties infiniment petites, ou du moins très-petites [...] Or si cela est ainsi, qui ne voit qu'on peut appliquer au tourbillon composé, le même rapport des forces centrales, que celui qu'on avoit trouvé pour le tourbillon simple, en supposant, que ses points étoient tous égaux » (*ibid.*, p. 107-108).

Le « tourbillon composé »

Dans ses critiques à l'encontre du « tourbillon simple » rapportées ci-dessus, Sigorgne développe déjà des arguments contre le « tourbillon composé », évoquant notamment ce rebond qu'introduisent les petits tourbillons et qui devrait conduire à des mouvements « confus ». Par ailleurs, il s'appuie sur des conclusions établies pour le « simple » qu'il applique directement au « composé ». Ainsi du caractère non radial des forces rendant impossible que des tourbillons célestes trouvent un équilibre et impossible l'explication de la pesanteur. Puis Sigorgne récuse aussi qu'un « espace rempli de petits tourbillons [sphérique] égaux & semblables » puisse subsister « dans le même état » : d'une part, parce qu'il a prouvé qu'aucun possède « une force centrale égale dans tous les points de sa superficie » et, d'autre part, parce que « les points de ces petits tourbillons » pénètrent les espaces vides laissés vacants entre eux. Au demeurant, ces tourbillons finissent par devenir cylindriques¹. D'autres critiques portent sur le caractère incessamment expansif des tourbillons dans de tels systèmes, sur les pertes de mouvement dus à ces agrandissements, ou bien encore sur le mécanisme de la chute libre proposé par Molières et Launay.

Concernant le caractère expansif des tourbillons, si un volume contient des tourbillons dont un possède une plus grande « force » que les autres, Sigorgne estime que celui-ci « s'étendra continuellement aux dépens des tourbillons voisins [...] & il n'y aura pas moyen que l'équilibre survienne entre ces tourbillons »². Tout d'abord, il accorde à Molières un des « grands principes » des *Leçons*, à savoir qu'un tourbillon possédant plus de « force centrale » que ses voisins s'agrandit à leurs dépens « parce qu'alors entrant dans l'intérieur de ces tourbillons, il en contraindra les couches de se mouvoir selon sa détermination, & les fera par conséquent circuler autour de son centre »³. Suivant ces principes, tant qu'un tourbillon a plus de « force » en sa dernière superficie que ses voisins, « c'est une nécessité qu'il les dépouille, & qu'il s'agrandisse à leurs dépens ». Or, plus ce tourbillon s'étendra, « plus aussi il aura de force centrale centrifuge ». En effet, il possède « une couche égale, & par conséquent qui a une égale force à celle de la dernière superficie du tourbillon qu'on suppose plus petit » : « si donc la dernière couche de ce grand tourbillon reçoit, outre sa force, celle de sa petite couche qui lui est concentrique, il est sensible qu'il aura en sa dernière superficie plus de force centrale que le petit ». La « petite couche [...] frappe d'abord avec toute sa force la supérieure qui la touche, celle-ci reçoit toute cette force & frappe ensuite avec elle & celle qu'elle a déjà en vertu de sa circulation propre la couche supérieure », et ainsi de suite jusqu'à la dernière couche ; dans ces conditions, « la force centrale de la dernière superficie [...] surpassera de beaucoup celle d'un petit tourbillon, & elle la surpassera d'autant plus que ce tourbillon est plus grand »⁴. Chaque couche inférieure communique ainsi « toute sa force » à celle

1 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 91-93. Ceci répond à Molières [1734], Leçon III, Proposition III, p. 167-170 : « un Espace rempli de Tourbillons sphériques égaux & semblables, demeurera dans le même état, quelle que soit la situation de ces Tourbillons à l'égard des autres ». Voir aussi la Proposition IV, p. 174 : « des Tourbillons Sphériques, renfermés dans un espace solide [...] pourront y conserver leur sphéricité ».

2 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 97. Voir Molières [1734], Leçon III, Proposition V, p. 176 : « si un Tourbillon contenu dans un espace [...] rempli de Tourbillons, a plus de force centrale que ceux qui l'entourent, le Tourbillon s'étendra au dépens des Tourbillons voisins [...] jusqu'à ce que sa force centrale devienne égale à celle des autres ».

3 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 97.

4 *Ibid.*, p. 98-99.

immédiatement supérieure et la critique de Sigorgne consiste à s'interroger sur la quantification de la « force d'un tourbillon » : « pour estimer la quantité de force avec laquelle une couche tend vers la superficie du tourbillon, il faut prendre la force centrifuge propre de cette couche, & celle que toute la matière du fluide compris sous elle acquiert par la circulation » ; dès lors « l'effort dilatatif des couches croît avec ces couches »¹. Molières imagine qu'un équilibre survient entre ces tourbillons car en s'agrandissant « la force centrale des points de sa [celui possédant le plus de force] superficie » diminue tandis que celle des tourbillons contigus augmente dans la même proportion à mesure qu'ils diminuent en taille ; or, selon Sigorgne, Molières ne considère ici que les forces des dernières couches et non de l'intégralité des couches internes².

Par ailleurs, pour Sigorgne, les quantités de mouvement de la matière du tourbillon qui s'agrandit et de ses voisins diminuent, faisant de ce monde un « cahos énorme »³. En effet, Molières suppose deux tourbillons *A* et *B* (Fig. 14) contigus circulant en sens opposé, respectivement de *M* vers *O* et de *P* vers *Q*, *A* possédant plus de force que *B*. Il remarque qu'« il y a lieu de craindre [...] que les points du Tourbillon *A* venant à choquer en sens contraire les points du Tourbillon *B*, les forces contraires de ces points ne se détruisent, & que tant la somme des forces du Tourbillon *A*, que celle du Tourbillon *B*, ne diminuent considérablement ». Face à cette difficulté, Molières remarque que *A* agit selon une force radiale par « des secousses infiniment petites sur la matière du Tourbillon *B* », de la même manière que la pesanteur agit, faisant ainsi décrire à cette matière de *B* le « Folium de Descartes ». Or, « un corps qui se meut dans une ligne courbe quelconque ne perd rien de sa vitesse » en vertu de la Proposition I de la Leçon II ; la matière peut donc passer dans le tourbillon *A* sans que « les forces mouvantes » de celle-ci ne diminuent⁴.

Sigorgne remarque que l'action radiale ne peut pas faire changer le sens de circulation de la matière de *B* et que la comparaison avec l'action de la pesanteur joue en défaveur de Molières : la pesanteur affecte la direction d'un projectile sans altérer le sens initial de son mouvement ; seul le mouvement circulaire de *A* peut entraîner la matière de *B* dans son sens de circulation, et non une action normale⁵. Le fluide en *A* « se mouvant avec plus de force & en sens contraire » que celui en *B* doit donc « en contraindre les points de rebrousser chemin » : dans ce cas,

il est visible que [...] il doit y avoir un considérable déchet de force : les vitesses horizontales des points des deux tourbillons étant diamétralement opposées, les points du tourbillon *B* doivent perdre toute leur vitesse, & ceux du tourbillon *A* n'en pourront tout au plus conserver que l'excès de la leur sur celles des points du tourbillon *B*. D'où il suit que ces points du tourbillon *A* devant encore communiquer du mouvement qui leur reste, aux points du tourbillon *B* pour les faire circuler, il y aura tant dans ce tourbillon *A* qui s'aggrandit, que dans les tourbillons qui l'entourent, & aux dépens desquels il s'aggrandit, une diminution considérable & très-sensible de force & de vitesse⁶.

Launay réplique à ces deux critiques touchant à l'agrandissement incessant des tourbillons et aux pertes de mouvement. Pour la première, il remarque qu'« après cet agrandissement du tourbillon toutes les couches de ce tourbillon sont en équilibre les unes avec les autres » et qu'ainsi les couches inférieures ne sauraient augmenter « les forces des couches supérieures » : si, en effet, les forces centrales diffèrent pour chacun des points de deux couches distinctes, « nonobstant cela il doit y avoir un équilibre entre la totalité des forces de

1 Sigorgne, *Replique a M. de Molières*, p. 27

2 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 100-101.

3 *Ibid.*, p. 104.

4 Molières [1734], Leçon III, Proposition VI, p. 178-180. Pour cette proposition, voir Partie II, Chapitre II.

5 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 107-108.

6 *Ibid.*, p. 109-110.

toutes les couches » qui ne font que se « résister mutuellement »¹. Il insiste ainsi sur la distinction à opérer entre les forces des points des couches et celles de la « totalité » des points pour chaque couche donnée. Pour la deuxième critique, Launay affirme qu'un corps peut se « détourner de sa 1^{re} direction pour en suivre une autre [...] sans perdre la vitesse avec laquelle il suivait sa première direction ». Il s'appuie sur les travaux de Molières et de Varignon pour justifier qu'un corps mu sur une courbe ne perd qu'une quantité infiniment petite de vitesse mais, au sujet du rebroussement de la matière de *B* au niveau de *N* (Fig. 14), il écrit sans plus de précision que le tourbillon *A* « contraint » la matière de *B* de « s'éloigner tant soit peu » de sa première direction *PNQ* et de suivre « une ligne qui fait un très-petit angle avec cette première direction »². Sigorgne et Launay paraissent ici raisonner respectivement sur des collisions inélastique et élastique. Pour Launay, l'élasticité de la matière vient du fait qu'elle se compose de petits tourbillons, or *A* et *B* représentent justement des petits tourbillons : pour que leurs matières puissent rebondir il faudrait supposer dans *A* et *B* d'autres tourbillons et ce dans une régression à l'infinie³.

Enfin, concernant l'explication de la pesanteur, outre ses critiques de la Leçon II de Molières qui montrent l'impossibilité qu'une force radiale puisse exister dans le système des tourbillons⁴, outre l'évocation des dispositifs expérimentaux de Bilfinger qui confirment ce point (*ibid.*, p. 166), Sigorgne rejette aussi l'explication donnée par Molières de l'ascension et de la descente d'un corps dans un fluide. Molières imagine des globules environnant le corps, ceux situés au-dessous tendant à se rapprocher tandis que ceux de la partie supérieure tendent à s'éloigner, ceci rendant compte de l'ascension du mobile⁵. Sigorgne suppose la superficie du fluide « circulaire » (concentrique à la Terre) et souligne que « tous les globules d'une même superficie seront à égale distance du centre sur lequel ils gravitent, & ils ne tendront par conséquent ni à s'approcher ni à s'éloigner l'un de l'autre au-dessus ou au-dessous du mobile » (*ibid.*, p. 153)⁶. Par ailleurs, il estime que dans un « tourbillon composé » plutôt que chuter un solide devrait s'éloigner du centre du grand tourbillon. En effet, tout d'abord, sans tenir compte du mouvement de ce grand tourbillon, si un corps a au-dessous de lui des tourbillons plus petits – donc plus forts – qu'au-dessus, il migre vers le haut ; or, tel est bien le cas selon Molières dans les tourbillons composés, les petits tourbillons plus proches d'un centre de rotation étant plus petits que les autres. Ensuite, en considérant le mouvement du grand tourbillon, les petits tourbillons reçoivent une « force » (une accélération) supplémentaire provenant de leur rotation autour d'un centre, et le mobile acquiert aussi cette « force centrale » car « il circule aussi vite que les petits tourbillons autour du centre [...] du grand tourbillon » ; « on a donc augmenté l'impulsion du mobile vers la superficie du tourbillon » vers laquelle il doit alors s'approcher. Par ailleurs, avec ce mouvement supplémentaire, les petits tourbillons au-dessus du corps « ont acquis une tendance vers l'extrémité [du grand tourbillon] qu'ils n'avoient pas auparavant » et, ainsi, « on a [...] diminué la résistance que les tourbillons supérieurs auroient pu apporter au mouvement du mobile vers l'extrémité du [grand] tourbillon » (*ibid.*, p. 156-160).

Ratte, secrétaire perpétuel de la Société royale des sciences de Montpellier de 1743 jusqu'à 1793, présente aussi à cette académie le 5 septembre 1743 une critique de l'explication de la pesanteur dans « le système des petits tourbillons, imaginé par le P. Malebranche, adopté &

1 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 130-131.

2 *Ibid.*, p. 138-139.

3 Ceci ne résout pourtant pas le problème que ce mécanisme rencontre dans sa définition de la matière postulée « molle » et sans force si elle n'est pas animée d'un mouvement tourbillonnaire : comment peuvent se former les tourbillons qui composeraient les tourbillons *A* et *B* sous de telles hypothèses ? Nous constaterons ci-dessous que Castel et Sigorgne émettent ce genre de critiques.

4 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 147-149.

5 Voir Partie II, Chapitre IV.

6 Ceci vaut aussi en supposant la superficie horizontale, exemple aussi donné par Sigorgne.

perfectionné par M. l'Abbé de Molières »¹. Il imagine une sphère rigide remplie de petits tourbillons « dont les centres soient disposés suivant les rayons de la sphère », des tourbillons égaux à une même distance du centre dont les diamètres augmentent « dans la raison des distances du centre » et qui sont « en équilibre les uns avec les autres ». Le long d'un rayon, la suite de tourbillons équilibrés correspond à celle de « ressorts égaux & également bandés » qui se compriment mutuellement avec « une égale force » et, conséquemment, « tout ce que les Mécaniciens ont démontré sur les suites de ressorts égaux & également bandés, peut donc être appliqué aux suites de petits tourbillons ». En l'occurrence, la « puissance » qui résiste à toute une file de ressorts le long d'un rayon appuyée contre le centre fixe de la sphère² égale celle de chacun d'entre eux. Un corps dans une telle file demeure au repos : il est également pressé par les files en-dessous et au-dessus de lui, de même qu'il les presse également et empêche qu'elles ne se débandent. Pour la même raison, le corps demeure équilibré s'il se retrouve dans la sphère remplie de petits tourbillons (*ibid.*, p. 311-314)³. Ratte remarque que Malebranche et Molières n'ont pas supposé les petits tourbillons au repos mais entraînés par la circulation du grand tourbillon, et ils soutiennent alors que « les petits tourbillons ont un excès de force centrifuge, qui doit précipiter le mobile vers le centre ». Il souligne, pour sa part, que « raisonner ainsi, c'est reconnoître bien formellement l'insuffisance des petits tourbillons pour l'explication de la pesanteur : car, ces petits tourbillons ne pouvant pousser le mobile vers le centre, lorsqu'ils ne forment point un grand tourbillon, il est clair que c'est à la force centrifuge du grand tourbillon, & non à celle qui naît des circulations particulières des petits tourbillons, que la pesanteur devrait être attribuée. Il n'étoit donc nullement nécessaire d'introduire les petits tourbillons dans le système de Descartes, pour expliquer la pesanteur des corps ». Ratte ajoute que l'explication de Descartes est sujette à des « difficultés accablantes », que « Malebranche & l'Abbé de Molières en sont convenus », et que Huygens, Bilfinger, J. (I) Bernoulli ont cherché à « rectifier » le système de Descartes « mais [que] leurs tentatives ont eu peu de succès ». S'il écrit qu'il ne faut pas en conclure que la cause de la pesanteur ne dépend pas de l'impulsion d'un fluide, il conclut cependant que « la cause de la pesanteur sera toujours très-difficile à trouver, & qu'il est peut-être plus sage d'en abandonner la recherche » ; il remarque que « Neuton a ignoré cette cause » mais qu'« il a connu le premier les véritables loix suivant lesquelles la pesanteur agit » (*ibid.*, p. 315-317)⁴.

Launay ne répond pas aux critiques de Sigorgne au sujet du mécanisme de circulation des petits tourbillons autour des corps pesants lors de la chute libre. Selon Launay, les pressions exercées sur un corps par des petits tourbillons plus forts d'un côté que d'un autre expliqueraient, en effet, le mouvement d'un solide vers la superficie du grand tourbillon, mais ce raisonnement ne vaut que pour des petits tourbillons qui ne circulent pas autour d'un centre commun : il est « évident » qu'une circulation autour de ce centre génère une tendance que ne possède pas le mobile, Launay n'explicitant pas davantage cette affirmation⁵. Par ailleurs, il oppose systématiquement aux expériences de Bilfinger celles menées par Molières qui donnent un résultat contraire⁶.

1 Ratte, *Sur la pesanteur dans un milieu composé de petits Tourbillons*, dans *Histoire de la Société Royale des Sciences, établie à Montpellier, avec les Mémoires de Mathématique et de Physique*, t. II, Montpellier, J. M. Aîné, 1778, p. 310. Nous remercions H. Chabot d'avoir porté à notre connaissance ce mémoire de Ratte.

2 Cette « puissance » est celle de la résistance de la surface de la superficie rigide de la sphère contre cette file.

3 L'expression « ressorts égaux » manque de précision : s'agit-il de ressorts avec les mêmes caractéristiques (contante de raideur, longueur à vide) ? Quoi qu'il en soit, seule importe dans le raisonnement une identité des tensions des ressorts.

4 Sur ces modifications du système de Descartes par Bilfinger et J. (I) Bernoulli, voir notamment Brunet, *L'introduction des théories de Newton*, p. 153-157, p. 186-200 et p. 272-293. Pour la pesanteur chez Huygens voir Partie II, Chapitre I.

5 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 282.

6 *Ibid.*, p. 151 : « M. de Molières a fait voir à l'Académie une expérience contraire à celle de M. Bulffinger ». Voir aussi p. 291-292. Nous évoquons ces expériences de Molières dans les pages qui suivent.

CRITIQUES DE LA MATIERE

Des auteurs remettent en cause l'existence des petits tourbillons sous « l'hypothèse de la matière molle du P. Malebranche » : que cette matière se divise facilement et qu'elle n'oppose pas de résistance rend difficilement envisageable la formation de tourbillons, et ceci serait une conséquence directe du refus de Malebranche et de ses successeurs d'attribuer une force à la matière au repos¹. Par ailleurs, en supposant un tourbillon au sein d'une telle matière, il devrait se dissiper. Puis, le caractère « homogène » de la matière de l'univers impliquerait que plusieurs tourbillons finiraient par n'en faire qu'un seul. Enfin, la formation des corps terrestres et leur cohésion seraient inexplicables dans un tel système.

LA MATIERE ORIGINELLE

Pour Sigorgne, la formation des tourbillons ne peut avoir lieu dans cette « hypothèse du plein parfait » où « Dieu a d'abord créé la matière indéfinie, uniforme, homogène & en repos ; c'est ce que tous les Cartésiens accordent » (*ibid.*, p. 9)². La première raison résulte de cette homogénéité. Sigorgne écrit que, selon les « Cartésiens », si Dieu imprime à une des parties de cette matière encore au repos un mouvement en ligne droite, « elle rencontrera à chaque instant dans la matière environnante des obstacles au mouvement rectiligne ; ce mouvement devra donc se replier & il deviendra circulaire ». Mais il remarque que

c'est un principe reçu qu'un corps qui se meut dans un milieu homogène, ne quitte jamais la ligne de sa première direction ; qu'il ne se réfracte ou ne se replie, que dans le cas qu'il passe d'un milieu plus facile dans un plus difficile, ou d'un milieu plus dense dans un moins dense, & encore faut-il que sa direction soit oblique sur la surface de ce milieu. Or le corps en question se mouvrait dans un milieu tout-à-fait homogène, puisque toute la matière créée l'est, & que hors une de ses parties tout en en repos (*ibid.*, p. 10).

En l'absence d'actions ou de modifications locales du milieu, celui-ci ne saurait altérer une trajectoire ; l'usage du verbe « réfracter » exemplifie cette permanence de direction, un rayon lumineux ne subissant une altération qu'en traversant des espaces d'inégales densités. Par ailleurs, en supposant même que le mouvement de la matière doive se « replier » et devenir « circulaire »,

cette raison là même iroit à prouver que ce corps que l'on suppose en mouvement, ne pourroit se mouvoir autour d'un centre éloigné de lui ; puisqu'il rencontreroit toujours de la matière en repos dans les cotés du polygone qu'il faudroit qu'il décrivît (*ibid.*)

La seconde raison consiste en « une remarque importante » reposant sur les conséquences du rejet de la force des corps au repos :

comme on convient aujourd'hui que le repos n'est pas une force, toute cette matière créée en repos sera infiniment molle ; ses parties n'auront aucune ténacité, aucune liaison, aucune viscosité, puisque ténacité, adhérence, &c. ne sont dans le système Cartésien que des effets de la compression en tous sens & du Tourbillon déjà formé. Les parties de cette matière se diviseront donc au moindre choc, de la même manière que si l'on jette de l'argent-vif contre une muraille, on le voit aussi-tôt se diviser en un million de parties, se refléchir en tous sens, & se diviser encore dès qu'il retombe sur le plancher. La matière Cartésienne aura donc encore plus de facilité à se diviser & à se refléchir en tous sens que l'argent-vif, puisque les parties de celui-ci ne laissent pas que d'avoir de la viscosité, & elle ne pourra être susceptible d'aucun mouvement réglé. La génération du Tourbillon est donc impossible (*ibid.*, p. 10-11).

1 Sigorgne, *Réplique à M. de Molières*, p. 13.

2 Sur ces propriétés de la matière lors de la création, voir Partie II, Chapitre II.

Tout d'abord, il y a faute logique dans le raisonnement des « Cartésiens », puisque « tenacité », « liaisons » etc. résultent de l'action des tourbillons, lesquels ne sauraient être formés sans que le fluide ne possède au préalable ces propriétés. Par ailleurs, « l'hypothèse de la matière molle du P. Malebranche » (*ibid.*, p. 13) pose un problème insoluble : l'absence de force lui confère une mollesse identifiable à une infinie « facilité » à être divisée, ses parties ne possédant aucune liaison entre elles. Il faudrait ajouter à cette critique, outre l'absence de liens des « parties » constitutives du fluide, l'absence de résistance de chacune d'entre elles, voire l'impossibilité de définir ce que pourraient être ces « parties ».

Ainsi, cette matière ne peut pas former un tourbillon. En supposant qu'il en existe un en son sein, « cette matière environnante ne pourra recevoir de mouvement qu'en ligne droite » et « le Tourbillon devra se dissiper, par la raison que sa dernière superficie tendant manifestement à se mouvoir en lignes droites, & touchant à une matière homogène, rien n'empêche qu'elle ne s'y meuve » (*ibid.*, p. 16).

Ces arguments figurent dans le texte de Castel déjà évoqué publié dans le *Journal de Trévoux* de Juin 1739. L'auteur entend « démontrer le vice hypothétique des petits Tourbillons, fondés sur une matière infiniment molle, fluide, & homogène »¹ en dénonçant l'œuvre de Malebranche qui

se jetta dans les plus grands excès d'hypothèses où le Cartesianisme ait jamais donné, en rompant avec tous les liens naturels de la matière rendue infiniment molle, & lui redonnant de sa pure liberté mille nouvelles entraves par un tourbillonnement infini tout de sa façon, & qui n'étoit prouvé ni *à priori*, par le droit, ni *à posteriori* par le fait. Qu'on suive de près le Newtonianisme ; depuis près de 25 ans. qu'il se développe, voilà l'Époque & la principale cause de ses progrès.

En 1739, cette durée de 25 ans correspond environ à celle séparant la sixième édition de 1712 de *De la recherche de la vérité*. En effet, selon Castel

ce n'est pas l'attrait du vuide, ce n'est pas le goût de l'attraction, c'est malgré l'horreur du vuide & de l'attraction, la mollesse plus que fragile de la matière, c'est la fiction plus qu'hypothétique des Tourbillons Malebranchistes qui ont fait & qui font tous les jours des Prosélytes à Newton.

Castel entend alors montrer « le vice hypothétique des petits Tourbillons » à l'aide de « trois Propositions générales » et d'autres « auxiliaires » et ce dans le but de rétablir la « vérité » des tourbillons de Descartes « au préjudice de son redoutable adversaire », à savoir Newton (*ibid.*, p. 1244-1245). La première proposition stipule que « dans une matière infiniment molle, fluide & homogène, il ne peut se former un nombre de Tourbillons, ni grands ni petits » car

il faut de la résistance, de l'opposition, du contrechoc pour occasionner un Tourbillonnement : Or une matière molle, fluide & homogène à l'infini, n'oppose pas plus de résistance au mouvement que le vuide selon les Malebranchistes mêmes.

En complément, « le mouvement de Tourbillon est violent », entendre par là que « le mouvement libre & naturel est de soi droit à l'infini », et que rien dans cette matière originelle ne contraint à la génération d'une courbe (*ibid.*, p. 1246-1247). Castel ajoute que « la non conspiration des mouvements contigus, est la seule cause immédiate des Tourbillons » et que seule « l'Hétérogénéité des substances diverses est la cause tout à fait générale, naturelle & ordinaire de la non conspiration & des Tourbillons qui en résulte ». Ce « Principe de l'Hétérogénéité, l'un des plus sains de la Physique [est] anéanti par la mollesse uniforme de la matière chez Malebranche » : ce principe assure en effet, selon Castel, cette « non

¹ *Démonstration Physico-Mathématique*, p. 1245-1246.

conspiration » ou cette absence de mélange de substances telles que l'huile et l'eau (*ibid.*, p. 1248-1249)¹.

Par ailleurs, et c'est la seconde proposition générale, « des Tourbillons formés dans une matière molle, uniforme, homogène s'y détruisent en un seul, d'autant plus vite qu'ils sont plus petits » (*ibid.*, p. 1252). En effet, « l'Hétérogénéité seule & la non conspiration des mouvemens qui en résulte, conserve les Tourbillons naturels » : elle sert de « boîte naturelle » de « rempart » comme « l'eau même sert de boîte impénétrable à l'huile », rempart inexistant « si le liquide étoit parfait, infiniment mol, uniforme, homogène » et où par conséquent « un nombre de tourbillons n'y tiendrait pas ». Ainsi « une goutte d'eau bien ronde perd de sa rondeur en tombant dans l'eau » de la même manière qu'un tourbillon perd sa forme dans un fluide qui lui est homogène. Une telle perte est d'autant plus assurée par « le ressort très-vif » des petits tourbillons de Malebranche (*ibid.*, p. 1253-1255). En somme, en supposant qu'« une matière molle, uniforme, Homogène » remplisse un espace fermée, elle ne doit y former « qu'un tourbillon » (*ibid.*, p. 1250-1251) : « de soi deux tourbillons non hétérogènes, & infiniment fluides & uniformes, vont n'en faire qu'un par le seul principe de leur homogénéité », l'auteur prenant l'exemple deux gouttes d'eau, d'huile ou de mercure en contact, ou les ondulations provoquées par deux pierres à la surface d'une eau qui finissent par se confondre (*ibid.*, p. 1259) ; arguments et illustrations proposées aussi par Sigorgne qui cite les propositions de Castel². Se retrouve alors cette thèse d'une impossibilité de formation des petits tourbillons qui, cette fois-ci, découle de la nature homogène du fluide ; l'hétérogénéité revendiquée par Castel ne saurait résulter de la simple différence des forces centrifuges des petits tourbillons laquelle permet aux malebranchistes d'expliquer différents degrés de cohésion des corps ou l'absence de mélange des fluides.

La troisième proposition générale stipule que « les tourbillons, ni grands, ni petits, ne sont bons à produire qu'un seul des effets pour lesquels ils sont imaginés », en l'occurrence « les grands sont pour la révolution des astres. L'effet est réel & visible ; ces tourbillons sont bons ». Les deux autres effets inexplicables par les grands et les petits tourbillons sont la pesanteur qui n'est pas dirigée vers le centre de la Terre dans le système tourbillonnaire, et la dureté et l'élasticité des corps, la critique de Castel sur ce dernier point figurant dans la section suivante³.

La réponse de Molières aux critiques de Castel consiste à affirmer que les petits et les grands tourbillons ne se sont pas formés d'eux même « en conséquence des loix du mouvement » mais qu'il s'agit là de « la première forme que la matière, & chacune de ses parties, ayent reçues au moment de la création »⁴. Dans ces conditions, les critiques adressées sur l'impossible formation des tourbillons ou, en les supposant créés, sur leur impossibilité à perdurer, critiques reposant sur le fait que la matière « molle » n'oppose pas de résistance, s'avèrent caduques : puisque Dieu donne à chaque partie de matière le mouvement de tourbillons, ceux-ci résistent mutuellement et s'équilibrent ce qui assure au système sa cohésion. Si Molières reconnaît que « le mouvement de tourbillon est violent » comme l'affirme Castel, il ajoute aussi qu'« il est démontré durable & perpétuel » dans ses *Leçons*

1 *Ibid.*, p. 1248-1249. L'auteur illustre ces propos par des exemples sensibles. Ainsi, si pour deux chevaux attelés l'un s'arrête ou va moins vite que l'autre, « aussi-tôt l'autre se tourne sur lui & le Carrosse même va comme à la Bouline », mouvement devant illustrer le tourbillonnement causé par une « non conspiration ».

2 Sigorgne, *Replique à M. de Molières*, p. 36-38 : « tous les fluides de même espèce se confondent dès qu'ils viennent à se toucher. Or la matière qui composeroient ces petits tourbillons, seroit par tout homogène & uniforme, de l'aveu de leurs Défenseurs ».

3 *Démonstration Physico-Mathématique*, p. 1261-1262.

4 Molières, *Réponse de l'auteur des Leçons de Physique à l'Auteur de la Démonstration Physico-Mathématique*, p. 1682. Les *Leçons* rapportent la genèse des tourbillons selon les lois du mouvement bien que Molières estime qu'ils soient créés par Dieu au commencement du monde, voir Partie II, Chapitre II.

(*ibid.*, p. 1686)¹. Par ailleurs, Molières souligne que « l'hétérogénéité de la matière, quoi qu'utile à la conservation des tourbillons, n'y est pas absolument nécessaire [...] & est un effet qui résulte du mouvement circulaire en tourbillons sphériques d'une matière dans les parties de laquelle il n'y a aucune liaison entr'elles » (*ibid.*, p. 1686).

LES CORPS « DURS »

Pour certains auteurs, l'impossibilité d'une formation de corpuscules durs résulterait de la nature même de la matière céleste qui sous la forme des petits tourbillons rendrait inconcevable la genèse du troisième élément de Molières. Au demeurant, puisque dans un tel système il n'existe pas de forces centripètes les explications concernant la formation des planètes et celle de corpuscules au sein de petits tourbillons seraient illusoire. Enfin, la dureté de la matière demeure problématique puisqu'elle résulte d'une pression sur une matière par nature infiniment molle.

Sur la formation des corps

Selon Sigorgne, les petits tourbillons ne peuvent pas subsister « s'ils ne sont point multipliés à l'infini, de sorte que chaque petit tourbillon même infiniment petit doit être composé d'une infinité d'autres tourbillons plus petits »². Une raison avancée consiste à souligner que, selon Molières, le mouvement dans un tourbillon simple (composé de corpuscules durs) ne peut pas perdurer à cause du frottement de ses parties : « il est donc nécessaire pour qu'un grand tourbillon puisse subsister, que les points qui le composent, soient eux-mêmes composés d'autres petits tourbillons à l'infini : car si les parties d'un tout viennent à se détruire, le tout ne peut manquer d'être lui-même détruit ». Sigorgne poursuit en demandant « d'où viendrait d'ailleurs la dureté des points qui composeroient un de ces petits tourbillons ? on ne pourroit en assigner aucune cause ». Aussi, pour Sigorgne, le mécanisme des *Leçons* requiert cette composition à l'infini des tourbillons (*ibid.*, p. 182)³. Il dénonce alors « un système fondé sur le paradoxe de l'infini actuel », en remarquant que certes « la matière est divisible à l'infini [...] mais de cela seul ne s'ensuit-il pas qu'elle ne sauroit être autant divisée actuellement, qu'elle est divisible, puisque l'infini ne peut pas s'épuiser ? Il le seroit cependant dans l'hypothèse du tourbillon, on vient de le voir » (*ibid.*, p. 183)⁴.

D'après Molières, la formation des planètes et des corps pesants provient d'une perte de matière des petits tourbillons qui résulte de leur « sassement & ressassement » lors de leurs révolutions autour d'étoiles⁵. Sigorgne ayant établi que chaque point d'un tourbillon « si petit qu'il soit » doit contenir à son tour un autre tourbillon,

il suit que quand il se détacheroit quelques parties des petits tourbillons par leur sassement & ressassement intime, jamais ces parties ne pourront s'arrêter les une auprès des autres, à cause que se balançant par leurs forces centrifuges, elles se repousseront mutuellement & se réfléchiront avec une

1 Ainsi, Molières écrit qu'« il est démontré chez tous les Mathématiciens qu'un corps qui se meut en rond, lorsqu'il n'y a rien d'ailleurs, qui s'oppose à son mouvement, si ce n'est la résistance qui le contraint de circuler, ne perd point de son mouvement en circulant, quoiqu'il fasse des efforts continuels pour se mouvoir en ligne droite » ; il se réfère ici à la loi de perte de vitesse au premier ordre lors du mouvement circulaire (voir Partie II, Chapitre II). Il ajoute que les tourbillons « de chaque espèce étant tous supposés égaux en grandeur & en force, il est impossible de concevoir que l'un l'emporte sur l'autre », *ibid.*, p. 1682-1683. Enfin, la rupture d'un équilibre n'engendre pas la destruction de l'ensemble des tourbillons mais un retour à une situation d'équilibre, *ibid.*, p. 1684-1685. Sur ce dernier point, voir Partie II, Chapitre III.

2 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 181.

3 Sur ces frottements des corpuscules durs du second élément de Descartes, voir notamment Molières [1734], Leçon II, Proposition IV, p. 106 ; voir Partie II, Chapitre III.

4 De la même manière, Castel remarque que ce système « donne nécessairement dans l'absurde de l'infini actuel », *Démonstration Physico-Mathématique*, p. 1255-1256.

5 Voir Partie II, Chapitres II et III.

grande vitesse, qu'elles ne pourront par conséquent composer ensemble une molécule pesante dépourvue de tout mouvement circulaire, ni tomber au centre du tourbillon, où elles ne laisseroient pas que de se défendre par leurs forces élastiques, de la compression des petits tourbillons environnans¹.

En accordant tout de même que ce « sassement & ressassement » détache des éléments de matière, et en supposant que ceux-ci ne possèdent pas de mouvement circulaire, il ne s'ensuit pas qu'ils pèsent vers un centre. Sigorgne reprend l'argument développé à propos des espaces angulaires laissés vacants entre les petits tourbillons : puisque Molières suppose qu'une matière subtile n'ayant pas la forme de tourbillons peut demeurer dans ces zones sans tomber vers un centre, les parties détachées des petits tourbillons devraient alors demeurer dans ces zones². Puis, « elles [les parties] devront se disperser uniformément dans toute l'étendue du [grand] tourbillon, de la même manière que les particules de sel dissous dans l'eau s'y tiennent suspendues, sans se précipiter au centre ». Sigorgne se place donc dans le cadre du mécanisme de Molières pour en dénoncer les paralogismes et s'il ne se forme pas alors de planètes dans ce système, « il ne se formera point non plus aux centres des petits tourbillons qui composent le grand, des globules durs & solides » puisque chacune de ces deux formations repose sur les mêmes principes. Chez Molières, ces corpuscules durs sont constitutifs des liquides et de fluides mais, dès lors, « l'air, l'eau & l'huile [...] ne peuvent être de petits tourbillons aux centres desquels il se soit formé des globules durs » et c'est toute la « chimie physique », selon l'appellation de Molières, qui s'en trouve « renversée »³.

Launay rétorque que quand bien même les tourbillons se composeraient à l'infini d'autres plus petits⁴, ceci n'impliquerait pas que des corps durs ne puissent pas se former. Ainsi, en supposant que par ce « sassement & ressassement » évoqué par Molières ou « même par quelque autre cause » se trouve parmi des tourbillons du second ordre un amas de petits tourbillons du troisième ordre, cet amas « sera comprimé par ces tourbillons [du deuxième ordre] & il pourra devenir dur & pesant » (*ibid.*, p. 196-197). En effet, « les tourbillons du troisième ordre [...] font équilibre entr'eux, & non pas avec les tourbillons du second élément » lesquels doivent comprimer les premiers « fortement » assurant ainsi leur dureté : l'hétérogénéité des ordres de tourbillons explique la cohésion. La pesanteur provient naturellement de « l'effort central centrifuge de ces mêmes tourbillons du second genre », effort moindre pour ceux du troisième genre. Or, à cause de cet effort, la matière ne peut pas demeurer dans les espaces angulaires contrairement à l'éther qui dépourvu de pesanteur reste dans ces zones : ainsi, même si elle est sous la forme de petits tourbillons la matière détachée lors du « sassement & ressassement » peut choir (*ibid.*, p. 197-199).

Comme souligné, Sigorgne conteste l'existence d'une force centrale dans un tel système et, conséquemment, la possibilité d'expliquer la formation de corpuscules et que ceux-ci se rapprochent de l'atmosphère d'une planète. En accordant l'existence d'une telle force, il s'avère impossible de justifier qu'un corps dur de même volume qu'un ensemble de petits tourbillons et circulant autour d'un centre à la même vitesse qu'eux se rapproche de ce point duquel il devrait même s'éloigner (voir ci-dessous). Les petits tourbillons chargés en leur centre de corpuscules ne sauraient tomber au niveau des planètes et en former la matière sensible : ils possèdent une même force centrifuge que ceux de l'éther dans lequel ils baignent puisque les uns et les autres s'équilibrent ; ainsi l'excès de pesanteur ne saurait provenir des forces propres des petits tourbillons car, par exemple, ceux de l'eau bien que chargés de corps

1 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 189-190.

2 Rappelons que Molières considère ces interstices remplis d'une matière sous la forme de tourbillons ou non. Voir *supra* dans ce chapitre.

3 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 190-192.

4 Sur cette division infinie, Launay suit l'opinion de Molières en notant qu'il suffit de porter la division aussi loin que nécessite l'explication d'un phénomène : « il n'est [...] point indubitable que dans les principes de l'Auteur des Leçons de Physique on doive admettre des tourbillons plus petits & plus petits à l'infini, mais on peut tout expliquer en poussant cette division des tourbillons à un degré fini ». Voir Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 334-335.

durs et ceux de l'éther s'équilibrent. Par ailleurs, Molières assure « qu'un mobile, quel qu'il soit, qui se meut dans un fluide, doit acquérir bientôt la vitesse de ce fluide & avoir par conséquent autant de force centrale commune que l'éther, s'il se meut dans l'éther » ; pour Sigorgne, la différence de pesanteur ne résulte donc pas non plus de la rotation autour d'une planète. Par conséquent, les petits tourbillons chargés possèdent « autant de force centrale & commune [autour du centre du grand tourbillon] & particulière [autour de leur propre centre], que les tourbillons qui les environnoient », et ne peuvent donc pas tomber vers une planète¹.

La réponse de Launay reprend celle de Molières figurant dans le *Journal de Trévoux* daté de Février 1738². Molières répliquait alors à une critique anonyme dénonçant l'impossibilité dans ce système qu'un petit tourbillon chargé d'un corpuscule puisse tomber au centre d'un grand tourbillon pour cette raison avancée par Sigorgne que ce petit tourbillon et ses voisins s'équilibrent³. Molières écrit que « de cela seulement, qu'il y aura un petit globe [...] dur, au centre d'un petit tourbillon environné de pareils tourbillons qui n'auront pas à leurs centres de pareils globes durs, & que tous ces petits tourbillons circuleront autour de l'axe d'un grand tourbillon [...] le petit tourbillon, au centre duquel il se sera formé un globule dur [...] sera poussé au centre du grand tourbillon par l'effort centrifuge des petits tourbillons de l'éther », et ce malgré « l'équilibre entre l'effort centrifuge particulier de ce petit tourbillon à l'égard de son centre & l'effort centrifuge particulier des autres petits tourbillons à l'égard chacun de leurs centres ». Molières dénonce alors la méprise faite par l'auteur le critiquant concernant le mot « équilibre » : pour que le petit tourbillon chargé existe il suffit qu'il soit équilibré par ses petits tourbillons voisins, mais « il ne s'agit ici en aucune sorte, qu'il y ait équilibre entre l'effort centrifuge du petit tourbillon chargé, & l'effort centrifuge des petits tourbillons non chargés de globules durs, à l'égard du centre commun, c'est-à-dire, du centre du grand tourbillon ». Ainsi, les petits tourbillons possèdent une force centrifuge commune par la circulation du grand tourbillon et « ils [les petits tourbillons] tendent tous à se défendre mutuellement » par leurs forces centrifuges, mais « sans que cela empêche que, par cette seconde force centrifuge, ils ne tendent aussi à s'éloigner du centre commun avec plus de force, que si ces petits tourbillons n'étoient que des globules durs »⁴.

La dureté

Dans sa *Réplique*, Sigorgne remet en cause l'explication de la dureté des corps par la pression des petits tourbillons.

Sigorgne écrit que « si les [petits] tourbillons ne sont pas multipliés de cette sorte [à l'infini], si chaque couche d'un petit tourbillon n'est pas remplie de tourbillons plus petits, & celles de ceux-ci composées à leur tour, il y aura certainement des tourbillons *composans* qui seront simples comme ceux de Descartes », autrement dit des tourbillons comprenant des corps durs sans que cette dureté résulte d'une pression d'autres tourbillons. Sigorgne s'interroge alors sur la « nature » des « points qui composeroient ce dernier ordre de tourbillons » : sont-ils durs, élastiques, ou mous ? Aucune de ces suppositions ne peut convenir dans le système de Molières. Le « ressort » ne convient qu'aux tourbillons et donc

1 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 192-194.

2 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 200-205.

3 Le mémoire anonyme s'intitule *Lettre écrite de Montpellier, à l'Auteur des Leçons de Physique*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Janvier 1738, Paris, p. 132-141 et p. 132-136. L'auteur y écrit : « comment voulez-vous qu'un globule dur placé au centre d'un petit tourbillon soit porté au centre du grand tourbillon ? Il faut qu'il y soit poussé par les parties qui l'entourent : mais il n'est immédiatement entouré que des particules de son propre tourbillon, qui par leur force centrifuge particulière ne peuvent que le retenir au centre qu'il occupe. Le petit tourbillon n'est pas lui-même poussé par ses voisins, avec lesquels vous le supposez justement en équilibre ».

4 Molières, *Réponse de M. l'Abbé de Molières, à la lettre de M***, inserée dans les Mémoires du mois précédent*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Février 1738, Paris, p. 314-326. Voir aussi Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 200-205.

pas à ces « points ». La dureté suppose une compression mais « l'on n'en peut assigner aucune » en l'absence d'une non-multiplication des tourbillons et, par ailleurs, « le repos des parties [de ces points] les unes auprès des autres ne peut produire cette dureté » selon l'opinion même de Molières. Enfin, « ces parties [...] ne seront pas molles, au sens que l'on prend ordinairement ce mot » car « la mollesse suppose un peu de résistance à la division », résistance inassignable ici pour cette même raison d'une absence de pression extérieure et de force de repos¹. S'ensuit cette alternative : une régression à l'infini des tourbillons ou des corps durs comme terme. Mais avec ce « dernier ordre de tourbillons » composés de ces corps durs, les difficultés du système cartésien que Molières dénonce se retrouvent : ces corps sont sujets aux frottements, ils produisent « des mouvemens en tous sens, qui se détruisent », ils conduisent au « cahos » et

par conséquent cette matiere qui composoit auparavant les tourbillons de ce dernier ordre, ne tourbillonne plus en particulier, & rend simple le tourbillon, qui auparavant étoit de l'avant-dernier ordre ; il en arrivera donc autant à celui-là, & tous les tourbillons composans se détruisant par ce moyen, le grand tourbillon ne subsistera pas long-tems, supposé que vous [Molières] ayez raison de rejeter le tourbillon simple de Descartes (*ibid.*, p. 132).

Enfin, face à la réponse de Launay affirmant que des corps durs pourraient naître de la compression de petits tourbillons par d'autres à l'issue du « sassement & ressassement », Sigorgne remarque à nouveau qu'

il ne s'en détachera [des grands tourbillons lors du « sassement & ressassement »] jamais que des tourbillons ; des tourbillons, dis-je, plus petits que ceux dont ils sont détachés, & qui auront par conséquent, selon vous, plus de force & de vitesse que ceux dont ils font le démembrement. Comment voulez-vous donc qu'ils en soient comprimés, & comprimés jusqu'à être durs comme le marbre & le diamant ? (*ibid.*, p. 133)

La plus grande force de ces plus petits tourbillons rend ainsi difficilement concevable la compression qu'ils devraient subir afin de former un corps.

En admettant que les parties de matières détachées par le « sassement » des tourbillons ne soient pas des petits tourbillons, Sigorgne ne croit pas non plus « qu'elles puissent par la compression de l'éther devenir dures ». Comme remarqué précédemment, pour Launay l'adhésion entre elles des parties des corps par l'action des tourbillons, ne signifie pas que ces tourbillons « doiv[ent] aussi éprouver dans les [leurs] la même adhésion », autrement dit que les parties constitutives des tourbillons soient dures. Sigorgne affirme que la dureté « l'exige dans la cause qui la produit » car « les parties comprimantes ne doivent point céder, ni se diviser au moindre effort ; sans cela leurs efforts deviennent inutiles, & ne peuvent rien produire. Or comment ces parties ne se diviseront-elles point, si elles ne sont pas dures ? » (*ibid.*, p. 134). Ce dernier argument rejoint celui de Castel : dans le système de Malebranche, les petits tourbillons expliquent la dureté et l'élasticité des corps, « comme si étant essentiellement mols par nature, ils pouvoient par un art essentiellement humain, & par une pure fiction d'hypothese prendre d'eux-mêmes une vertu, que rien ne leur donne »². Le raisonnement s'avère réversible : la partie comprimée doit présenter une dureté afin qu'une matière fluide puisse agir. Or, la matière comprimée est par nature infiniment molle et, par conséquent, le moindre effort suffit à en séparer les parties plutôt qu'à les unir, ceci rendant

1 Sigorgne, *Replique*, p. 130-131.

2 *Démonstration Physico-Mathématique*, p. 1262.

alors impensable l'explication de la dureté par l'action des petits tourbillons comme le soulignent notamment Lamy, Varignon et Saulmon¹.

Enfin, selon Sigorgne « un corps dur de la dureté même première doit résister à sa division selon tous les sens ; s'il y a un sens selon lequel il ne résiste point, il n'est point propre à la dureté seconde. Or, [...] si la dureté première vient de la compression du tourbillon, le corps central n'apportera aucune résistance à sa division selon une de ses tangentes »².

LE DEBAT MOLIERES-NOLLET : LA CRITIQUE EXPERIMENTALE

En 1741, Mairan, alors secrétaire perpétuel de l'Académie royale des sciences, relate que « M. l'Abbé de Molières, & M. l'Abbé Nollet ont fait cette année diverses expériences sur les forces & les directions d'un ou de plusieurs fluides renfermés dans une même sphère qui tourne sur son axe, relativement au système des Tourbillons »³. Mairan écrit l'historique de telles expériences, notant que Huygens établit que des matières placées dans un fluide en rotation s'approchent de l'axe de révolution selon une direction orthogonale à celui-ci (*ibid.*, p. 4)⁴. En 1703 et 1709 Saurin remet en cause ces conclusions et soutient « spéculativement » qu'un fluide placé dans une sphère creuse en rotation provoque une action centripète (*ibid.*, p. 5)⁵. Selon Mairan « on en est venu plus tard à l'expérience du Tourbillon sphérique par le moyen d'un fluide renfermé dans un globe de verre creux, & tournant sur son axe » et ce avec Bilfinger (*ibid.*, p. 6)⁶. Comme Huygens, Bilfinger soutient le caractère non centripète des forces développées lors de la rotation et évoque alors la nécessité d'un mouvement « en tous sens » pour rendre compte d'un mécanisme de pesanteur ; il décrit dans le prix qu'il remporte à l'Académie de Paris en 1728 une machine permettant au fluide d'accomplir « deux mouvemens dont les directions se coupent à angles droits »⁷. Mairan rapporte que pour Molières « les expériences qui [...] faisoient naître un noyau cylindrique lui devenoient suspectes, ou mal exécutées » et qu'un tourbillon en révolution autour d'un axe suffit selon ce savant à expliquer la pesanteur : Molières propose en 1740 et 1741 « en faire voir la possibilité & les effets, par rapport à la Pesanteur, dans un globe rempli d'eau, & tournant

1 Lamy, *Lettres Philosophiques sur divers sujets importants*, 143-150. En particulier, du fait de l'absence de force de repos de la matière, un corps peut « diviser actuellement dans toutes ses parties » un autre corps. Pour Varignon et Saulmon, voir Partie II, Chapitre III.

2 Sigorgne, *Replique*, p. 134. Rappelons que la « dureté première » concerne celle des corpuscules au sein des petits tourbillons et que la « dureté seconde » est relative à l'assemblage de ces tourbillons pesants, voir Partie II, Chapitre III. Pour cet argument voir aussi Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 205-206 : « les corps durs, la terre par exemple, ne résiste pas seulement à sa division dans la direction du centre à la superficie, mais elle résiste dans toutes les directions imaginables. Cependant si sa dureté venoit de la compression de son tourbillon, comme cette compression n'est que de la superficie au centre, il paroît qu'elle ne devoit apporter aucune résistance à sa division selon une de ses tangentes ; de la même manière qu'on sépare aisément deux marbres bien polis en les faisant glisser l'un sur l'autre, quoiqu'il y ait une force qui les comprime dans une direction perpendiculaire à leurs surfaces ».

3 Mairan, *Sur les tourbillons cartésiens*, HARS 1741 (1744), p. 1.

4 Mairan décrit l'expérience de Huygens d'un vaisseau cylindrique rempli d'eau et de « plusieurs petits brins de cire d'Espagne concassée », matière plus dense que l'eau ; le récipient mis en mouvement puis arrêté, la cire se rassemble « en pelotons autour du centre ». Mais « il [Huygens] remarqua que la rotation ne s'y faisant pas sur un centre unique, mais, pour ainsi dire, sur une infinité de centres rangés en ligne droite ou sur l'axe de rotation, soit du cylindre, soit du Tourbillon quelconque, il falloit nécessairement que la matière chassée par le fluide vers cet axe, s'y rangeât autour en petit cylindre ou en fuseau, & par conséquent que si cette mécanique avoit lieu, il faudroit que la matière qui forme le Soleil & les Planètes se fût rangée de même sur les axes de leurs Tourbillons. C'est ce qui l'obligea, comme on vit depuis dans son Traité de la pesanteur, à imaginer que la matière éthérée dont l'effort centrifuge cause la Pesanteur, tournoit en tous sens, & sur une infinité de cercles, autour du point central de chaque Tourbillon », *ibid.* Pour Huygens, voir Partie II, Chapitre I.

5 Sur les mémoires de Saurin, voir Partie II, Chapitre I.

6 Voir Bilfinger, *De Directione Corporum Gravium in Vortice Sphaerico, et figura nuclei, Dissertatio experimentalis, Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, t. I (année 1726), Petropoli, Typis Academiae, 1728, p. 245-261 et Bilfinger, *De causa gravitatis Physica generali disquisitio experimentalis*. Voir Brunet, *L'introduction des théories de Newton*, p. 153-157.

7 Mairan, *Sur les tourbillons cartésiens*, p. 6-7

verticalement sur un axe horizontal ». Par ce même dispositif, Nollet établit, et ce contrairement à la théorie et aux résultats expérimentaux de Molières, l'existence d'une seule « force *axifuge*, qui ne pouvoit par conséquent imprimer par sa réaction, une tendance centrale aux corps plus légers qu'on y avoit plongés » (*ibid.*, p. 7-8). Les expériences et les conclusions de Nollet sont publiées dans le volume *Histoire* de l'Académie de 1741¹.

Mairan note que « Molières étoit bien éloigné de se rendre à toutes ces preuves expérimentales [de Nollet] contre les Tourbillons » et évoque alors « la dispute » entre les deux académiciens, le décès de Molières survenant le 12 mai 1742 y mettant un terme². De 1740 à 1742, les Procès-verbaux de l'Académie témoignent en effet de séances où les lectures de Molières et de Nollet se répondent³. Les conclusions de Nollet ont une portée considérable, la pesanteur de direction centripète expliquant, selon Molières, aussi bien la formation des astres que celles des corpuscules des éléments chimiques : c'est l'ensemble du système des tourbillons qui se voit donc remis en cause. Or, le compte-rendu du secrétaire qui reflète la position de l'Académie sonne comme un désaveu à l'encontre des expériences de Molières et, conséquemment, de sa théorie ; il semble bien, en effet, qu'aux yeux de l'institution les résultats de Nollet revêtent un caractère crucial.

Molières détaille ses expériences dans deux manuscrits insérés dans les registres de l'Académie des années 1740 et 1742, le second reprenant l'intégralité du premier et le développant. Molières entend prouver par une « expérience sensible » la transformation de la « force *axifuge* » en « force centrifuge *centrale* », phénomène qu'il considère comme un « principe important » et même « comme le fondement de toute la Physique »⁴. Il réalise cette expérience à l'aide d'une sphère creuse en verre de « 9 pouces » de diamètre remplie d'eau et tournant autour d'un axe horizontal dans laquelle il place un « bulle d'air » de 2 lignes de diamètre⁵. Après certaines « observations » et l'énoncé de certaines conditions expérimentales nécessaires au déroulement de la manipulation⁶, Molières constate que la bulle d'air va « se

1 Nollet, *Mémoire dans lequel on examine par voie d'expérience, quelles sont les forces & les directions d'un ou de plusieurs Fluides renfermés dans une même Sphere qu'on fait tourner sur son Axe*, MARS 1741 (1744), p. 184-198.

2 Mairan, *Sur les tourbillons cartésiens*, p. 10.

3 Le samedi 14 décembre 1740, Molières termine la lecture de ses *Expériences qui démontrent que la force Axifuge d'un Tourbillon spherique se transforme en Force Centrale Centrifuge* dont la lecture adébuté le 29 novembre, et s'est poursuivie les 3 et 10 décembre (*Procès-verbaux de l'académie royale des sciences*, 1740, t. 59, p. 213r, 214v, 216r, 217v) ; ce texte figure aux pages 217v à 225r. Le mercredi 11 janvier 1741, « Mr. l'Abbé de Molières fait voir à la Compagnie un nouvel essai de la machine destinée à prouver l'existence de l'effet des Tourbillons, dont il donnera la description et l'usage ». Les Procès-verbaux nous apprennent que Nollet « reprend » alors la lecture d'un mémoire de 1740 le 25 janvier 1741, lecture qu'il termine le 28 janvier (*Procès-verbaux*, 1741, t. 60, p. 7, p. 27 et p. 29) ; ce mémoire n'apparaît pas dans les registres. Le samedi 4 février 1741, « M. l'Abbé de Nollet commence la lecture d'un Memoire sur les expériences qu'il a faites d'un Tourbillon d'eau renfermé dans un globe creux de verre », laquelle se poursuit le 18 février et s'achève le 22 février (*ibid.*, p. 35, p. 43, p. 45). Cet écrit qui occupe les pages 45 à 52 des *Procès-verbaux* correspond en partie à la publication de Nollet dans le volume de l'année 1741 de l'Académie. A sa fin, figure cette mention : « Mr. L'Abbé de Molières lit une addition à son Memoire sur le Tourbillon d'eau & en reponse aux objections de Mr. L'Abbé Nollet » (pour cette addition, *ibid.*, p. 52-54). Le 18 avril 1742, « M. de Molières commence la lecture de son Mémoire de 1740 sur les expériences du Tourbillon d'Eau avec quelques additions qu'il y a faites, en conséquence du mémoire de M. Nollet sur la même matiere », lecture poursuivie les 21, 25, 28 avril et terminée le 2 mai (*Procès-verbaux*, 1742, t. 61, p. 141, p. 150, p. 160, p. 161, p. 162) ; pour ce mémoire, voir p. 163-194. Le Samedi 5 mai 1742, « Mr l'abbé Nollet a fait en présence de l'académie les Expériences du Tourbillon d'Eau dont il est parlé dans le mémoire qu'il lut dernièrement à l'Académie sur ce sujet, et dans celui de Mr l'abbé de Molières » (*ibid.*, p. 196).

4 Molières, *Expériences qui prouvent que dans un Tourbillon Sphérique, il y a une force centrifuge centrale, dont la direction est du centre, vers tous les points de la Superficie*, dans *Procès-verbaux*, 1742, t. 61, p. 163.

5 Pour une description de l'appareil, *ibid.*, p. 165. Dans ces conditions expérimentales, le diamètre de « 2 lignes » apparaît comme la taille limite pour laquelle la bulle ne se divise pas. Des bulles supérieures à « 2 lignes » se divisent et migrent le long de l'axe, non vers le centre de la sphère, ce qui selon Molières a porté des physiciens à soutenir qu'il n'existe qu'une « force axifuge », *ibid.*, p. 166.

6 Outre la taille de la bulle d'air, le fait qu'elle ait tendance à migrer vers un des pôles de la sphère si son axe de rotation n'est pas parfaitement horizontal (*ibid.*, p. 167-168), ou bien la nécessité d'une vitesse de circulation commune à la sphère et au fluide, la bulle migrant vers un pôle lorsque la sphère tourne plus rapidement que l'eau. Sur ce dernier point, il faut donc un régime permanent de circulation afin que l'expérience modélise l'action due au seul mouvement du fluide et non à celui de la sphère, sinon le mouvement de la sphère entraîne sur le fluide des impressions différentes du fait de

placer au centre du globe » et y demeure, tout en adoptant une « forme sphérique » ; une « bouille d'huile » et une autre « de cire qui pese un peu moins qu'un pareil volume d'eau » migrent aussi vers ce centre (*ibid.*, p. 169). Dès lors, malgré des éléments inhérents à l'expérience, notamment le fait que l'eau pèse ce qui est à l'origine d'« une force axifuge incidente » qui s'oppose à un mouvement centripète (*ibid.*, p. 171)¹, ou bien encore malgré la « tendance » de la bulle à se porter vers le pôle le plus élevé, cette bulle gagne le centre de la sphère et « la force axifuge de ce tourbillon, se transforme continuellement en force centrifuge centrale dont la direction est du centre vers tous les points de la superficie » (*ibid.*) Selon Molières, c'est faute d'avoir « distingué » dans son tourbillon trois mouvements – celui dû à la pesanteur de l'eau, celui de la superficie de la sphère pouvant communiquer à l'eau des vitesses impropres à une circulation uniforme, le régime permanent de circulation du fluide qui est pour Molières l'unique cause de la tendance radiale – que Bilfinger a conclu à une « force axifuge » (*ibid.*, p. 194).

Au manuscrit de 1740 fait suite une « Addition » spécifiant que les expériences réalisées en présence de l'Académie « n'ayant pas été exécutées avec assez de précision », celle-ci en demande la répétition que Molières exécute le 11 janvier 1741. Molières écrit en 1740 que « tous (les académiciens) en général, et ceux en particulier pour chacun desquels on les a répétées ont témoigné publiquement qu'elles étoient avérées, et que la bulle d'air malgré sa tendance à aller au Pole tant soit peu plus élevé sur l'horizon venoit au centre du Globe et y demuroit »². L'évocation d'un tel accord disparaît du manuscrit de 1742 et, à cet égard, la lecture du texte de Mairan semble éclairante.

En relatant l'expérience de Molières, Mairan observe qu'« on vit en effet quelquefois la petite bulle, ou quelqu'autre portion d'air encore plus petite, que la première agitation de l'eau avoit détachée de celle-ci, se retirer vers le centre »³. Il remarque que l'air adhérent aux corps, la bulle s'arrête souvent sur le globe et surtout à ses pôles, soit au niveau où « la force centrifuge du fluide qui devoit la repousser au centre, étoit moins grande » :

pour l'arracher du verre, il falloit quelquefois & pour un moment, incliner un peu cet axe [de la sphère], qui auroit dû être toujours horizontal ; après quoi la bulle d'air s'arrêtoit à la vérité quelquefois au centre du globe, ou vers le milieu de l'axe, mais encore & aussi souvent, à un autre de ses points quelconques, & elle remontoit au pole opposé, si on ne rétablissoit pas promptement la position horizontale ; position dont on ne pouvoit s'assurer parfaitement. Cependant M. l'Abbé de Molières prenoit pour preuve de son système, tous les cas où la bulle d'air paroissoit avoir été chassée vers le centre par la rotation du fluide, & n'attribuoit tous les cas contraires qu'à l'imperfection des instrumens, & aux difficultés inséparables de l'expérience. Mais l'Académie sous les yeux de qui cette expérience fut faite & répétée, n'en jugea pas de même. La plus grande partie de ceux qui en furent témoins, trouvèrent que la bulle d'air paroissoit indifférente à se porter vers quelque point que ce fût de l'axe, & que si elle affectoit de se fixer à l'un des poles, ce n'étoit que par les raisons que nous venons d'en donner [à savoir une force centrifuge plus faible] ; en un mot, que l'expérience n'indiquoit dans le fluide circulant qu'une force *axifuge*, qui ne pouvoit par conséquent imprimer par sa réaction, une tendance centrale aux corps plus légers qu'on y avoit plongés (*ibid.*, p. 8).

Face à Molières qui affirme que la tendance « axifuge » se transforme « continuellement » en une autre centrale, Mairan oppose une indifférence de la bulle, relevant que « quelquefois » elle se dirige vers le centre du globe. Face à Molières qui, en 1740, écrit être « peu versé en fait de Machines », qui note avoir fait « plusieurs tentatives inutiles » et qui indique s'appuyer

vitesses linéaires différentes entre l'équateur et les pôles (*ibid.*, p. 168-169). Le ralentissement de la sphère produit des frottements contre le verre causant « dans le Tourbillon un dérangement considérable dans le mouvement actuel de ses parties », *ibid.*, p. 173 et p. 169.

1 Le mouvement orthogonal à l'axe de rotation que génère cette pesanteur « ne procède d'aucune propriété essentielle au tourbillon » qui pour Molières ne possède pas de pesanteur.
 2 Molières, *Expériences qui démontrent que la force Axifuge*, p. 224v.-225r.
 3 Mairan, *Sur les tourbillons cartésiens*, p. 7

sur « M. Pagny qui s'exerce depuis quelques années aux Expériences de Physique, dont il construit avec beaucoup d'élégance et d'exactitude les instruments nécessaires, et en explique les usages avec succès dans plusieurs Collèges de l'université »¹, Mairan oppose « M. l'Abbé Nollet, qu'on sçait être très-exercé dans la physique expérimentale »². Aux avis favorables, selon Molières, de « tous (les académiciens présents) en général » et d'autres « en particulier » devant lesquels les expériences furent répétées, Mairan oppose des expériences « faites en présence de l'Académie » et « devant des Commissaires nommés par elle, & que M. l'Abbé Nollet avoit eu la délicatesse de demander »³, en affirmant que l'Académie « n'en jugea pas de même » que Molières ; ces commissaires sont Réaumur, Clairaut, Montigny, et D'Alembert⁴.

Nollet ne cite jamais explicitement Molières bien que son mémoire s'oppose, comme le rapporte Mairan, à « l'expérience », aux « inductions » et aux « principes sur lesquels il [Molières] les avoit fondées »⁵. En supposant un mouvement uniforme de la masse d'eau, Nollet énonce que « toutes les tranches ou cercles d'eau paralleles à l'équateur, auront des forces centrifuges particulières, d'où il résultera une force axifuge pour toute la masse », ce que « l'expérience confirme »⁶. En effet,

lorsqu'on se sert d'une eau qui contient quelques parcelles de matière plus légères qu'elle, ou lorsqu'on y mêle un peu d'huile de thérébentine colorée, que le mouvement divise bientôt en petits globules, tous ces corpuscules moins denses qu'un pareil volume d'eau, cédant à la force axifuge du fluide qui les emporte, s'approchent de l'axe de la révolution commune, & l'enveloppent dans toute sa longueur, en formant un corps dont le diametre & la figure varient suivant la valeur relative de la force axifuge de l'eau, & les rapports qu'ont entr'elles les forces centrifuges particulières d'où ils résultent. Ordinairement, c'est un cylindre, tantôt c'est un conoïde, quelquefois un fuseau, assés souvent c'est un corps plus enflé aux extrémités qu'au milieu, & jamais une sphere, pas même rien qui s'en approche. On ne peut donc pas dire que la force axifuge du fluide se convertisse en force centrifuge commune à toute la masse ; car si cela étoit, il paroîtroit bien singulier que les petits corpuscules obligés de céder à cette force, ne prissent jamais entr'eux une figure telle qu'elle devoit résulter de son action & de sa direction, je veux dire, que jamais ils ne parussent sollicités à se rassembler de toutes parts vers le centre commun, comme on auroit lieu de le penser si l'on voyoit au moins quelquefois qu'ils prissent la forme sphérique, ou qui en approchât.

Une bulle d'air mise dans la sphère paraît « en certains cas » migrer vers le centre une fois chassée du pôle mais, pour Nollet, ça n'est qu'un cas particulier « qu'on opposeroit en vain à des expériences constantes, parce qu'il dépend d'un concours d'accidents ». Nollet remarque qu'une bulle se situe nécessairement dans le plan de l'équateur ou dans un plan qui lui est parallèle, et que l'action qu'elle subit provient de la colonne de fluide verticale comprise entre l'axe et cette bulle et non de la colonne allant de l'air à l'extrémité de la sphère. En supposant la vitesse de rotation autour de l'axe identique pour la bulle et l'eau, la bulle n'oppose à l'action de la colonne de fluide tendant à l'amener vers l'axe que son « excès de légereté » ou sa force centrifuge⁷, laquelle est toujours moindre que celle d'un volume égal d'eau du fait des différences des densités de ces milieux :

1 Molières, *Expériences qui démontrent que la force Axifuge*, 218r-218v.

2 Mairan, *Sur les tourbillons cartésiens*, p. 7

3 *Ibid.*, p. 10

4 Voir *Procès-verbaux de l'Académie royale des sciences*, 1742, Séance du Mercredi 7 Mars, p. 95 : « Mr l'Abbé de Nollet demande des Commissaires pour être témoins des Expériences qu'il doit faire chez lui en vérifications ou en contradictions de celles de Mr l'Abbé de Molières sur les Tourbillons. Mrs de Réaumur, Clairaut, de Montigny et d'Alembert sont nommés pour cela ». Voir aussi *Procès-verbaux*, 1742, Séance du Mercredi 14 Mars, p. 117 : « Mr l'abbé Nollet rend compte à la Compagnie des Experiences du Tourbillon d'Eau de Mr l'abbé de Molières, qu'il s'étoit chargé de faire chez lui en presence de Mrs de Reaumur, Clairaut, de Montigny, et d'Alembert ; et il en lit le mémoire suivant » ; le texte ne figure pas dans les registres.

5 Mairan, *Sur les tourbillons cartésiens*, p. 8.

6 Nollet, *Mémoire dans lequel on examine par voie d'expérience*, p. 188.

7 Pour le cas où la bulle est située dans la partie au-dessus de l'axe horizontal, cette « légereté » s'oppose à l'action centrifuge de l'eau qui tend à la rabattre vers l'axe ; située en-dessous de celui-ci, « sa légereté respective concourt avec la force centrifuge de l'eau pour la porter au centre du cercle qu'elle décrit », *ibid.*, p. 189-190.

il suit [...] (& l'expérience le confirme) que dans quelque parallèle que se trouve la bulle d'air, elle doit y rester si l'axe du Globe est bien horizontal, parce que tous les plans collatéraux ayant des forces centrifuges égales à pareilles distances de l'axe, & les deux espèces de résistances que l'air a à leur opposer, je veux dire sa légèreté & sa force centrifuge, s'il circule, étant également foibles dans un endroit comme dans l'autre, on ne voit aucune cause qui puisse déterminer la bulle d'air à passer d'un parallèle à l'autre [et donc à migrer vers le centre] ; aussi quand elle y passe, aperçoit-on aisément que cela vient des secousses ou de la position du Globe, ou de l'inégalité du mouvement (*ibid.*, p. 189-190).

En effet, une action centripète ne survient que lorsque la sphère et le fluide ne possèdent pas « un mouvement commun ». En arrêtant le mouvement du globe, « les vitesses [de l'eau] ne diminueront point également en temps égaux pour tous les parallèles », ceux plus proches de l'équateur continuant à se mouvoir « sans retardement sensible » contrairement aux autres au voisinage des pôles subissant « des accélérations ou des retards considérables » (*ibid.*, p. 193). L'expérience montre alors que le « cylindre » autour de l'axe de rotation de « parcelles de matière » plus légères que l'eau, « cylindre » obtenu pour un « mouvement commun » de la sphère et du liquide, s'élargit à ses extrémités lorsqu'on diminue la vitesse du Globe, ce qui atteste d'une moindre force centrifuge de l'eau en ces zones. Dans ces conditions une bulle d'air, ou tout autre corps léger placé en ces endroits, s'élève au-dessus de l'axe et

si la figure du vaisseau [par exemple un vaisseau de forme conique au lieu d'un sphérique] ou quelque secousse dans le fluide le [un corps léger] détermine à prendre une ligne oblique, il se trouvera dans des parallèles d'un plus grand diamètre, où la vitesse, & par conséquent la force centrifuge, s'est mieux conservée, & alors il sera rabaisé vers l'axe & dans un point plus voisin du centre de la sphère (*ibid.*, p. 194).

En supposant, toujours sous cette hypothèse d'une sphère ralentie ou arrêtée, une bulle au-dessus de l'axe au niveau d'un pôle, puis en rendant au globe sa première vitesse,

cela seul peut faire aller cette parcelle d'air vers le centre de la sphère, car les vitesses dans le fluide se rétablissent par où elles ont commencé à s'affaiblir, c'est-à-dire, que les cercles les plus près des pôles sont plus commandés par la surface du verre ; ainsi les forces centrifuges prennent des accroissements qui passent de cercle en cercle jusqu'au centre de la sphère, & qui sollicitent la bulle d'air à suivre la direction de leur progrès (*ibid.*)¹

Nollet conclut alors que le mouvement centripète

n'arrive pas toujours, & [...] il n'arrive jamais quand le mouvement du fluide persévère uniformément ; plusieurs circonstances peuvent le faire naître, la forme du vaisseau, les secousses dans le fluide, l'inégalité du mouvement, l'inclinaison de l'axe, &c. ainsi l'on peut dire que ce renvoi de la bulle au centre de la sphère, n'est qu'un accident qui ne prouve nullement la conversion de la force axifuge [en] force centrale (*ibid.*, p. 194)².

A contrario, Molières écrit que lors de la mise en mouvement de la sphère la bulle reste au niveau du pôle ou à un point quelconque de l'axe « tant que le mouvement circulaire que la superficie du globe imprimoit à la masse de l'Eau qu'elle contenoit, dominoit celui que

1 Nollet considère une bulle de diamètre XY , petit segment horizontal qu'il prend parallèle à l'axe de rotation du globe. Ce diamètre est aussi celui du cercle qui est la base d'une colonne d'eau verticale allant de l'axe de rotation de la sphère à cette bulle, colonne de hauteur TV : « si la colonne TV , [...] a plus de force centrifuge en X [l'endroit de la bulle le plus proche du pôle], qu'elle n'en a en Y [l'endroit le plus éloigné], il est évident que la bulle d'air qu'elle sollicite, tendra vers l'axe par une ligne oblique qui l'approchera du centre de la sphère », *ibid.*

2 Nollet remarque que le cas d'un mouvement uniforme conféré à toute la masse liquide « n'arrive pas ordinairement à la rigueur », la sphère ne tournant pas toujours autour de « ses vrais pôles », et le fluide possédant « une pesanteur qui concourt avec la moitié de sa [la sphère] révolution verticale, pendant qu'elle [la pesanteur] s'oppose à l'autre, il se fait des secousses presque inévitables », *ibid.*, p. 187-188. En somme, la pesanteur a à la fois une action dans le même sens et dans le sens opposé au mouvement de la sphère.

l'Eau acqueroit peu à peu par son moyen ». Il précise ensuite continuer de mouvoir le globe jusqu'à ce que l'eau ait « un mouvement circulaire qui lui fut propre » ; il donne ainsi à la machine la vitesse nécessaire au seul entretien du mouvement du fluide avec une circulation uniforme et il remarque alors qu'« aussitôt » la bulle migre vers le centre¹. Pour Molières, une fois ce régime permanent établi, le dispositif modélise de manière adéquate le mécanisme des tourbillons célestes et la surface de verre ne sert alors qu'à « accompagner » et « entretenir » le « mouvement propre » de l'eau. Finalement, il considère, expériences à l'appui, qu'en l'absence de régime permanent les mouvements de la sphère s'opposent à la tendance centripète qui résulte, selon lui, « de la propriété même du Tourbillon ». En effet, « la fixation de la bulle d'air au centre du Tourbillon lorsqu'on ne donne à la superficie du verre que le même mouvement circulaire que les particules d'Eau ont acquis, ne peut procéder que de la propriété même du Tourbillon qui pousse continuellement tant qu'il existe, la bulle d'air au centre » (*ibid.*, p. 173). Molières remarque expérimentalement qu'en jouant sur le mouvement du globe une bulle d'air peut être « fixée » en un point quelconque de l'axe de rotation : si on augmente la vitesse de la sphère, la bulle située initialement en un point de l'axe s'approche d'un pôle et si on diminue ce mouvement, elle s'approche du centre ; pour Molières ces observations sont la « preuve évidente » que « le mouvement de la superficie du verre balance celui qui porte la bulle d'air au centre ». Ainsi, « ce mouvement centripète de la bulle d'air, qui se rencontre dans tous les points de l'axe ; et qui n'est empêché de produire son effet total que par le mouvement contraire qui est soumis à la discrétion de celui qui opère, ne peut être absolument attribué qu'à une disposition intérieure du Tourbillon qui agit indépendamment du tour de main, et qui est opposé au mouvement que la main imprime ». Le fluide « pousse » continuellement vers le centre « dans le même temps qu'il est empêché de produire son effet totalement, par une cause étrangère, c'est à dire par le mouvement circulaire de la superficie du verre qui produit un effet opposé » (*ibid.*, p. 170 et p. 174).

Pour sa part, Nollet montre le caractère « axifuge » de la force puis il évoque les « circonstances » de l'expérience qui, « fautes d'être suffisamment observées ou entendues, pourroient donner lieu de rappeler en preuve un fait dont l'insuffisance a été reconnue », à savoir cette transformation d'une « force axifuge » en une « force centrifuge centrale ». Selon Nollet, seules ces « circonstances », qui sont étrangères au phénomène naturel qu'il s'agit de modéliser, permettent de rendre compte du changement de direction de la force². Enfin, Nollet souligne que la pesanteur du fluide ne saurait « fortifier » la tendance « axifuge » que la machine rend manifeste parce que « les parties du fluide sont en équilibre entr'elles », comme la théorie et l'expérience le montrent ; il s'agit-là d'une réponse à Molières qui estime que cette pesanteur contribue à cette tendance « axifuge » et nuit à celle centripète³.

Le désaveu officiel de l'Académie tient lieu d'épilogue à cette histoire, Mairan écrivant le 9 mai 1742 que « Mr l'abbé de Molières m'ayant remis au sortir de l'assemblée dernière, un petit Ecrit contenant un Résumé fait par lui des Expériences du Tourbillon d'Eau, dont l'Académie venoit d'être témoin, j'ai lu aujourd'hui le dit Ecrit à la Compagnie laquelle n'a

1 Molières, *Expériences qui prouvent que dans un Tourbillon Sphérique*, p. 169.

2 Nollet, *Mémoire dans lequel on examine par voie d'expérience*, p. 185.

3 *Ibid.*, p. 195. Nollet imagine une coupe verticale de la sphère selon le plan de l'équateur et considère une masse F du fluide pendant sa révolution entière : « il est aisé de voir que tout étant soutenu par la circonférence que représente les parois du vaisseau [la sphère], la pesanteur qu'on pourroit objecter, n'est plus qu'une pesanteur relative, dont les rapports font toujours subsister l'équilibre, en quelqu'endroit de son orbe qu'on imagine le volume F ». Ainsi, si F est située à la verticale, une colonne de fluide ayant pour base la paroi de la sphère l'empêche de descendre davantage ; par son poids F est accélérée dans son mouvement circulaire le long de la moitié de l'orbe qui fait aller cette masse de haut en bas, mais l'autre moitié s'oppose à cette accélération. Nollet met aussi à la place du volume F une « petite boule de cire colorée » de même pesanteur spécifique que l'eau et donc en équilibre : elle décrit « des cercles sensiblement concentriques à l'axe » et, conséquemment, « on ne peut pas dire que la pesanteur absolue de l'eau soit un obstacle aux effets qui doivent résulter de sa force axifuge lorsqu'on la fait tourner dans un Globe de verre » ; si cette boule « obéissait plus à sa pesanteur dans un temps que dans un autre, son orbe deviendroit excentrique [à l'axe de rotation], & ne seroit pas même parfaitement circulaire », *ibid.*, p. 195-196.

pas jugé à propos qu'il en fut fait mention sur les Registres »¹. Shank relève cette « ironie ultime » qui consiste en la nomination de Nollet à la place d'Associé mécanicien laissée vacante par la disparition de Molières².

CRITIQUES DU SYSTEME DES PETITS TOURBILLONS ET DES SYSTEMES

Les références aux petits tourbillons dans l'*Encyclopédie* illustrent le sort réservé aux systèmes au milieu du XVIII^e siècle ; la première partie de cette section examine la manière dont ces tourbillons sont évoqués dans le *Dictionnaire raisonné* et souligne en particulier qu'ils sont avant tout associés à une dénonciation des « hypothèses ». La suite montre, à travers l'exemple de Nollet, que le rejet des tourbillons n'implique pas celui du mécanisme : chez ce savant l'expérience justifie le recours à une matière fluide en mouvement pour interpréter les phénomènes sans pour autant qu'il la compose de tourbillons. Dans les deux cas, le rejet des petits tourbillons repose sur celui d'une méthode scientifique visant à intégrer les phénomènes dans un mécanisme préétabli particulier.

LES PETITS TOURBILLONS DANS L'*ENCYCLOPEDIE* ET LA CRITIQUE DES SYSTEMES

L'évocation de ce système dans l'*Encyclopédie* peut relever d'un compte-rendu factuel. Ainsi, l'entrée « Malebranchisme » (non signée) résume de manière neutre la production scientifique de Malebranche en y soulignant le rôle des petits tourbillons³. L'article « Liquide » détaille le mécanisme justifiant qu'un liquide ne se « dissipe » pas alors que « les parties intégrantes des *liquides* [sont] continuellement agitées par la matière subtile », et il montre comment l'équilibre entre les tourbillons dans le liquide et ceux l'extérieur se conserve. Ce texte, signé Samuel Formey, est « tiré de la *Dissertation sur la glace* par M. de Mairan, imprimée dans le *Traité des vertus médicinales de l'eau commune*, Paris, 1730. tome II. pag. 523 & suiv. » ; il s'agit en fait d'une reprise quasi-intégrale du Chapitre II de la *Dissertation sur la glace* de Mairan⁴.

1 *Procès-verbaux de l'Académie royale des sciences*, Mercredi 9 mai 1742, p. 197-198.

2 Shank, *The Newton's Wars*, p. 463. Voir *Procès-verbaux de l'Académie royale des sciences*, Mercredi 27 juin 1742, p. 307 : « Je vous donne avis M. que le Roy a choisi Mr l'abbé Nollet pour remplir la place d'Associé Mécanicien de l'Académie vacante par le décès du Sr Abbé de Molières ».

3 « Malebranchisme », *Encyclopédie*, t. IX, p. 943b : « Il [Malebranche] donna dans la dernière édition de la *Recherche de la vérité*, qui parut en 1712, une théorie des lois du mouvement, un essai sur le système général de l'univers, la dureté des corps, leur ressort, la pesanteur, la lumière, sa propagation instantanée, sa réflexion, sa réfraction, la génération du feu & les couleurs. Descartes avoit inventé les tourbillons qui composent cet univers. Malebranche inventa les tourbillons dans lesquels chaque grand tourbillon étoit distribué. Les tourbillons de Malebranche sont infiniment petits ; la vitesse en est fort grande, la force centrifuge presque infinie ; son expression est le carré de la vitesse divisé par le diamètre. Lorsque des particules grossières sont en repos les unes auprès des autres, & se touchent immédiatement, elles sont comprimées en tous sens par les forces centrifuges des petits tourbillons qui les environnent ; de-là la dureté. Si on les presse de façon que les petits tourbillons contenus dans les interstices ne puissent plus s'y mouvoir comme auparavant, ils tendent par leurs forces centrifuges à rétablir ces corps dans leur premier état, de-là le ressort, &c. »

4 « Liquide », *Encyclopédie*, t. IX, p. 568a-569a. Les parties intégrantes d'un liquide ne se dissipent pas car elles ont une pesanteur qui les maintient dans le récipient où elles se trouvent. Puis ces « parties » peuvent se toucher et alors elles présentent « d'autant moins de surface à la matière subtile intérieure, qu'elles se touchent en plusieurs endroits » et « elles en présentent donc davantage à la matière subtile extérieure » qui, en se mouvant plus rapidement que l'autre puisqu'elle « a plus de liberté », possède plus de force pour repousser les « parties » qui pourraient s'échapper. Concernant l'équilibre, « il n'est pas possible que cette vitesse [des petits tourbillons] ne soit fort diminuée par-là [c'est-à-dire par la mise en mouvement des parties solides du liquide], & ne se trouve bientôt au-dessous de ce qu'elle est dans la matière subtile du dehors, qui rencontre bien moins d'obstacles à ces divers mouvements ; obstacles d'autant plus considérables, que la densité du *liquide* est plus grande, que ses parties intégrantes sont plus grosses, qu'elles ont plus de surface, & que ces surfaces sont moins glissantes. Mais ce que la matière subtile perd de vitesse entre les interstices d'un *liquide*, est compensé par une plus grande tension du ressort de ces molécules, lequel augmente sa force, à mesure qu'il est plus comprimé ; & c'est par-là que l'équilibre se conserve entre les parties intégrantes du *liquide*, la matière subtile intérieure, & la matière subtile du dehors. C'est par l'action & la réaction continues & reciproques entre les parties du *liquide*, & la matière subtile qu'il contient, & entre ce tout & la matière subtile extérieure, que les vitesses, les

Pour autant, il ne s'agit pas là du mode d'évocation privilégié des tourbillons dans l'*Encyclopédie*. Ainsi, l'éditeur (probablement D'Alembert) s'empresse à la fin de « Liquide » de prendre ses distances face au résumé de Formey en ajoutant que

nous n'avons pas besoin de dire que tout ceci est purement hypothétique & conjectural, & que nous le rapportons seulement, suivant le plan de notre ouvrage, comme une des principales opinions des Physiciens sur la cause & les propriétés de la liquidité. Car nous n'ignorons pas que ce mouvement prétendu intestin des particules des fluides, est attaqué fortement par d'autres physiciens¹.

Aussi, si l'affirmation selon laquelle « les *globules* de Descartes sont aujourd'hui peu en honneur, même parmi ceux qui suivent sa philosophie sur d'autres points » témoigne de la connaissance du remplacement opéré par Malebranche du second élément de Descartes par des petits tourbillons², ces derniers se voient aussi soumis à la critique :

le P. Malebranche ne fait autre chose que de substituer aux globules durs de Descartes, de petits tourbillons de matière subtile. Mais indépendamment des objections générales qu'on peut opposer à tous les systèmes qui font consister la *lumière* dans la pression d'un fluide [...] on peut voir à l'article TOURBILLON, les difficultés jusqu'ici insurmontables, que l'on a faites contre l'existence des tourbillons tant grands que petits³.

L'auteur de « Lumière » détaille alors la nature de la lumière et l'origine des couleurs selon Malebranche⁴ et, parmi les « objections » évoquées dans la citation ci-dessus, il souligne notamment l'impossibilité que la lumière se propage rectilignement dans un tel système, critique adressée aussi à l'encontre de J. (II) Bernoulli dont « le fond du système [...] est celui du père Malebranche »⁵. Ces « difficultés [...] insurmontables » ci-dessus mentionnées correspondent à celles émises par Newton contre les grands tourbillons de Descartes, « difficultés » que résume l'article « Tourbillon » écrit par D'Alembert⁶. Cette dernière entrée contient aussi d'autres critiques visant plus spécifiquement les savants qui à partir de l'équilibre des tourbillons célestes déduisent la troisième loi de Kepler et la loi de gravitation newtonienne :

les surfaces concentriques du *tourbillon*, disent-ils [les « cartésiens »], sont comme les carrés des distances ; les forces centrifuges doivent être en raison inverse de ces surfaces, afin que les surfaces soient en équilibre, ainsi les forces centrifuges doivent être en raison inverse des carrés des distances, & les vitesses en raison inverse des racines carrées ; ce qui est la loi de Kepler. A cela on répond 1°. que ce prétendu équilibre des surfaces, en vertu de leurs forces centrifuges, est une chimère, parce qu'il n'y a

compressions & les masses multipliées de part & d'autre, donneront toujours un produit égal de force ou de mouvement : ce mouvement & cet équilibre subsisteront tant que le *liquide* persévéra dans son état de liquidité ». Le terme « molécule » renvoie ici à un petit tourbillon. Cet extrait correspond à Mairan, *Dissertation sur la glace* (1717), p. 20-26. La *Dissertation* est reproduite dans *Les vertus médicinales de l'eau commune, ou recueil des meilleures pièces qui ont été écrites sur cette matière ; auxquelles on a joint la Dissertation de Mr. de Mairan sur la Glace*, t. II, Paris, G. Cavelier, 1730, p. 521-676.

- 1 « Liquide », *Encyclopédie*, t. IX, p. 569a. Pour l'attribution probable à D'Alembert de cet ajout, rappelons que le savant a en charge la « partie Mathématique » du *Dictionnaire* : « j'ai fait ou revu tous les articles de *Mathématique & de Physique*, qui ne dépendent point des parties dont il a été parlé ci-dessus [à savoir la musique, l'aimant et l'électricité, l'arithmétique et géométrie élémentaire, la marine, l'art militaire, l'horlogerie et les instruments astronomiques qui sont évoqués avant cette remarque] ; j'ai aussi suppléé quelques articles, mais en très-petit nombre, dans les autres parties », *Encyclopédie, Discours préliminaire*, t. I, p. xliij.
- 2 D'Alembert, « Globules », *Encyclopédie*, t. VII, p. 715a.
- 3 « Lumière », *Encyclopédie*, t. IX, p. 718b.
- 4 *Ibid.*, p. 718b : « Le P. Malebranche suppose qu'il en est de même de la *lumière* & des couleurs. Toutes les parties du corps lumineux sont selon lui dans un mouvement rapide ; & ce mouvement produit des pulsations très-vives dans la matière subtile qui se trouve entre le corps lumineux & l'œil ; ces pulsations sont appelées par le P. Malebranche, *vibrations de pression*. Selon que ces vibrations sont plus ou moins grandes, le corps paroît plus ou moins lumineux ; & selon qu'elles sont plus promptes ou plus lentes, le corps paroît de telle ou telle couleur ».
- 5 *Ibid.*, p. 722a. Pour ces critiques voir Partie II, Chapitre IV.
- 6 D'Alembert, « Tourbillon », *Encyclopédie*, t. XVI, p. 472a-473a.

point d'équilibre entre des forces conspirantes ; 2°. que par les lois de l'hydrostatique, les grandeurs des surfaces ne devoient entrer pour rien dans cet équilibre ; 3°. que quand on expliqueroit par-là une des lois de Kepler sur les vitesses des différentes planetes, on n'expliqueroit pas l'autre, savoir que la vitesse d'une même planete aphélie & périhélie est en raison inverse de la distance, & non de sa racine (*ibid.*, p. 473a)¹.

Enfin, D'Alembert ajoute que

le P. Malebranche avoit imaginé de petits *tourbillons*, à l'imitation de ceux de Descartes. Ces petits *tourbillons*, par les moyens desquels il prétendoit expliquer la lumiere, les couleurs, l'élasticité, &c. ont fait pendant quelque tems une grande fortune : mais ils sont presque oubliés aujourd'hui. En effet si les grands *tourbillons* sont une chimere, comme on ne peut en douter, c'est déjà un grand préjugé contre les petits (*ibid.*, p. 473a-473b).

Ce caractère chimérique fait écho à la dénonciation de la « doctrine des tourbillons » comme « purement hypothétique » car

on ne prétend point y faire voir par quelles lois & par quels moyens les mouvemens célestes s'exécutent réellement, mais seulement comment tout cela auroit pû avoir lieu, en cas qu'il eût plû au Créateur de s'y prendre de cette maniere dans la construction mécanique de l'univers (*ibid.*, p. 471b).

De la même manière, concernant l'élasticité, D'Alembert écrit que des « philosophes »

à la tête desquels est le P. Malebranche, ont attribué l'*élasticité* à de petits tourbillons de matiere, dont ils ont supposé que tous les corps étoient remplis. Ces tourbillons, selon eux, sont aplatis par la compression, & changent leur figure sphérique en une figure ovale ; alors leur force centrifuge les rétablit dans leur premier état, aussi bien que les parties des corps dans lesquelles ils sont engagés. Mais sur quoi est fondée l'existence de ces petits tourbillons ? elle n'est pas appuyée sur des fondemens plus solides que celle des grands tourbillons de Descartes. *Voyez TOURBILLON*².

Le savant conclut qu'il s'agit là de « philosophes audacieux, qui prenant les phantômes de leur imagination pour les secrets de la nature, croient rendre raison des phénomènes par des hypothèses hasardées & sans fondement, qu'ils regardent comme des démonstrations » (*ibid.*, p. 445a). De la même manière, D'Alembert dénonce ceux qui recourent à la pression d'un fluide pour expliquer la dureté en demandant « quel est d'ailleurs ce fluide ? voilà ce qu'on ne nous dit pas, ou qu'on nous explique fort mal », fluide devant aussi rendre compte de la fluidité « tant les explications vagues sont commodes pour rendre raison du pour & du contre »³.

Les petits tourbillons subissent donc le même sort que les grands et ressortissent comme eux à un système « hypothétique & conjectural », une « chimere ». Les « hypothèses » en question ne sont pas celles ayant une portée heuristique guidant le savant dans sa recherche. Ainsi, D'Alembert « procri[t] de la Physique la manie des explications » mais non « cet esprit de conjecture » qui « timide & éclairé » peut conduire à des découvertes « pourvû qu'il se donne pour ce qu'il est, jusqu'à ce qu'il soit arrivé à la découverte réelle : cet esprit d'analogie, dont la sage hardiesse perce au delà de ce que la nature semble vouloir montrer, & prévoit les faits, avant que de les avoir vûs ». En physique expérimentale, le savant doit se garder de « vouloir rendre raison de ce qui lui échappe », se défier « de cette fureur d'expliquer tout, que Descartes a introduite dans la Physique, qui a accoutumé la plupart de

1 Pour ces différentes proportions et la déduction de la troisième loi de Kepler de l'équilibre des couches des tourbillons, voir Partie II, Chapitres I et II. Sur l'incompatibilité des lois de Kepler entre elles dans le système des tourbillons, voir Partie II, Chapitre II.

2 D'Alembert, « Elasticité », *Encyclopédie*, t. V, p. 444b.

3 D'Alembert, « Dureté », *Encyclopédie*, t. V, p. 172a.

ses sectateurs à se contenter de principes & de raisons vagues, propres à soutenir également le pour & le contre »¹.

La définition de « Hypothèse » de Jean Baptiste Vieillot dit La Chapelle renvoie à cette notion d'esprit « timide » avancée par D'Alembert. Il s'agit de « se contenter de raisons probables » pour expliquer des observations bien qu'« on ne soit pas en état de démontrer la vérité de ces suppositions »². La Chapelle insiste à la fois sur les découvertes que les hypothèses permettent³ et sur l'« excès » consistant à « les estimer trop », dénonçant l'exemple de Descartes ayant mis « tout le monde savant dans le goût de ces hypothèses » qui a fait « tomber dans celui des fictions ». Il dénonce l'« écueil » consistant à prendre une hypothèse pour une vérité « sans en pouvoir donner des preuves incontestables », pratique de « la plupart de ceux qui depuis *Descartes* ont rempli leurs écrits d'*hypotheses* » (*ibid.*, p. 417b). Il convient alors de suivre « ceux qui portant dans l'étude de la nature la sagacité & la sagesse de l'esprit observateur, ont la modestie de ne donner que pour de simples conjectures, des vûes souvent heureuses & fécondes »⁴.

L'« hypothèse » ainsi entendue correspond à celle définie par Etienne Bonnot de Condillac lorsqu'il distingue « trois sortes de systèmes », à savoir les « systèmes abstraits », les « hypothèses » et les « vrais systèmes »⁵. Les premiers sont notamment fondés sur des « principes abstraits » généraux qui ne sauraient conduire à des connaissances particulières ou bien qui mènent à des erreurs⁶. Concernant les hypothèses, il ne faut pas interdire « l'usage des hypothèses aux esprits assez vifs pour devancer quelque fois l'expérience » : les « soupçons », à condition qu'ils soient donnés pour ce qu'ils sont, « peuvent indiquer les recherches à faire, & conduire à des découvertes ». Mais il faut inviter les physiciens « à apporter toutes les précautions nécessaires » et à « ne jamais se prévenir pour les suppositions qu'ils ont faites » : c'est l'erreur de Descartes et de ceux suivant « ses principes » que de ne pas avoir donné leurs idées que comme des « conjectures » mais comme le « vrai système du monde » (*ibid.*, p. 389-390).

Le système de Descartes relève d'hypothèses « arbitraires » et Condillac dénonce les « abus » d'une méthode prétendant donner « les premiers principes des choses », expliquer la formation et la conservation du monde, et tous les phénomènes (*ibid.*, p. 368-370). Car la vérité d'une supposition repose sur deux conditions : « pouvoir épuiser toutes suppositions possibles par rapport à une question » et « avoir un moyen qui confirme notre choix, ou qui nous fasse reconnoître notre erreur » (*ibid.*, p. 357) ; conditions absentes pour Condillac des explications de la philosophie mécanique. En effet, ces explications visent à rendre raison du monde entier mais dans un si vaste projet « il restera toujours des phénomènes à découvrir », les uns « trop loin de nous pour être observés », les autres dépendant « d'un mécanisme si subtil, que nous n'avons point de moyens pour en pénétrer les ressorts ». A cause d'une telle impuissance on ne peut pas « remonter aux vraies causes » qui produisent et lient en un unique système les phénomènes que nous connaissons : « tout étant lié », l'explication des choses observées « dépend d'une infinité d'autres, qu'il ne nous sera jamais permis

1 D'Alembert, « Expérimental », *Encyclopédie*, t. VI, p. 301a-301b.

2 La Chapelle, « Hypothèse », *Encyclopédie*, t. VIII, p. 417a.

3 *Ibid.*, p. 417a-417b : « Les *hypotheses* doivent donc trouver place dans les sciences, puisqu'elles sont propres à faire découvrir la vérité & à nous donner de nouvelles vûes ; car une *hypothese* étant une fois posée, on fait souvent des expériences pour s'assurer si elle est bonne. Si on trouve que ces expériences la confirment, & que non-seulement elle rende raison du phénomène, mais encore que toutes les conséquences qu'on en tire s'accordent avec les observations, la probabilité croît à un tel point, que nous ne pouvons lui refuser notre assentiment, & qu'elle équivaut à une démonstration ».

4 D'Alembert, « Elasticité », *Encyclopédie*, t. V, p. 444b.

5 Condillac, *Traité des systèmes, où l'on en démêle les inconvénients & les avantages*, Paris, Neaulme, 1749, p. 8-9. Pour une étude détaillée de cet ouvrage, voir Ellen McNiven Hine, *A critical study of Condillac's Traité des systèmes*, La Haye, M. Nijhoff Publishers, 1979.

6 Condillac, *Traité des systèmes*, p. 13-17.

d'observer ». Ces hypothèses ne permettent alors ni d'épuiser toutes les suppositions, ni d'avoir de règles justifiant nos choix. L'imagination représente des choses inobservées sur le modèle d'autres observées mais aucun moyen ne permet de s'assurer « qu'il y a beaucoup d'analogie entre les premiers principes & les phénomènes connus » (*ibid.*, p. 364-365).

Condillac estime aussi que ces hypothèses sont l'œuvre de savants « qui d'ordinaire observent peu » (*ibid.*, p. 372). Puis il cite un passage des *Leçons de Physique* de Molières selon lequel le système de Descartes est une étape du mécanisme qui, certes, repose sur des « principes imparfaits » (des suppositions « fausses ou peu certaines » écrit Condillac) mais qui « guident » le physicien ; il est préférable de se servir de ces principes « que de n'en suivre aucun » car ils sont la cause « des plus importantes expériences » faites dans le dessein de confirmer ou de combattre ce système. Pour Molières, les physiciens cesseraient de faire des « découvertes » et d'en augmenter le nombre « s'ils cessoient de raisonner sur ces découvertes », autrement dit s'ils abandonnaient les systèmes. Molières identifie les systèmes aux machines pour élever un bâtiment : elles sont indispensables même s'il faut en changer et les améliorer à mesure que l'édifice se perfectionne¹. Condillac souligne que « les suppositions sont à un système, ce que les fondemens sont à un édifice » et dénonce le peu de justesse qu'il y a à les comparer avec des machines ; ce sont justement ces « fondemens » qui posent problème. Puis, les découvertes sont dues aux expériences et non aux « hypothèses arbitraires de quelques Philosophes » ; « le système de Descartes n'a par lui-même enfanté que des erreurs » et s'il a conduit à quelques vérités ce n'est que « par contre-coup », à savoir « en nous donnant la curiosité de faire certaines expériences »².

Pour Condillac, on ne peut alors faire de « vrais système » que lorsque « nous avons assez d'observations, pour saisir l'enchaînement des phénomènes », et puisque nous ne connaissons « ni les éléments des choses, ni les premiers ressorts des corps vivans ; nous n'en pouvons remarquer que des effets éloignés » : « les meilleurs principes qu'on puisse avoir en Physique, ce sont des phénomènes qui en expliquent d'autres, mais qui dépendent eux-mêmes de causes qu'on ne connoît point » (*ibid.*, p. 406-407). Par conséquent « les physiciens doivent se borner à mettre en système les parties de la Physique, sur lesquelles ils peuvent faire des expériences » et « leur unique objet doit être d'observer les phénomènes, d'en saisir l'enchaînement, & de remonter jusqu'à ceux, dont plusieurs autres dépendent ». Condillac souligne alors, dans ce qui peut faire figure de critique directe à l'encontre du mécanisme, que

le phénomène que nous remarquons comme le premier, c'est celui de l'étendue ; le mouvement est le second, & par la manière dont il modifie l'étendue, il en produit beaucoup d'autres. Mais de ce que nous ne pouvons remonter plus haut, il n'en faudroit pas conclure qu'il n'y a que de l'étendue & du mouvement : il ne faudroit pas non plus entreprendre d'expliquer ces phénomènes. L'expérience nous manquera, & nous ne pourrions imaginer que des principes abstraits (*ibid.*, p. 419-420).

L'article « Systeme » de l'*Encyclopédie* résume les définitions et les thèses de Condillac, insistant sur le fait que « les vrais systèmes sont ceux qui sont fondés sur des faits », et qu'ils exigent « un assez grand nombre d'observations » pour « saisir l'enchaînement des phénomènes »³. Cette pratique correspond alors au « véritable esprit systématique », à ne pas confondre avec « l'esprit de système », confusion faite, selon D'Alembert, par Mairan dans la « Préface » de 1749 de sa *Dissertation sur la glace*⁴. Une pratique pouvant aussi réunir

1 Molières [1737], Leçon XI, Proposition I, p. 121-126. Pour ce passage et la métaphore de l'architecte et de ses machines, voir Partie II, Chapitre II.

2 Condillac, *Traité des systèmes*, 373-374.

3 « Système », *Encyclopédie*, t. XV, p. 778a.

4 D'Alembert, *Encyclopédie, Discours préliminaire*, t. I, p. xi : « ce n'est donc point par des hypothèses vagues & arbitraires que nous pouvons espérer de connoître la Nature ; c'est par l'étude réfléchie des phénomènes, par la comparaison que nous ferons des uns avec les autres, par l'art de réduire, autant qu'il sera possible, un grand nombre de phénomènes à un seul qui puisse en être regardé comme le principe. En effet, plus on diminue le nombre des principes d'une science, plus on leur donne d'étendue ; puisque l'objet d'une science étant nécessairement déterminé, les principes

« l'observation & l'expérience au calcul mathématique » et où la loi mathématisée tient lieu de cause, ou, si cette science ne donne pas « prise » aux « calculs », une pratique recueillant et ordonnant les faits à défaut de « démonstrations rigoureuses »¹. Dans ce dernier cas, D'Alembert écrit que « ce sont-là les faits que le physicien doit sur-tout chercher à bien connoître : il ne sauroit trop les multiplier ; plus il en aura recueilli, plus il sera près d'en voir l'union : son objet doit être d'y mettre l'ordre dont ils seront susceptibles, d'expliquer les uns par les autres autant que cela sera possible, & d'en former, pour ainsi dire, une chaîne où il se trouve le moins de lacunes que faire se pourra ; il en restera toujours assez ». Le physicien doit alors se garder « de vouloir rendre raison de ce qui lui échappe » et doit conserver « retenue » et « circonspection », le contre-exemple étant les hypothèses de Descartes². Aussi, concernant les explications relatives aux phénomènes de la glace, bon nombre d'articles de l'*Encyclopédie* s'appuient sur les observations et les expériences consignées par Mairan dans sa *Dissertation sur la glace*, mais ils évacuent systématiquement les interprétations du savant basées sur les petits tourbillons³. Puisque Mairan est aussi un expérimentateur, ce n'est pas tant sur « la méthode » que sur « les finalités de la science » que s'opère alors la césure entre la pratique qu'appelle de leurs vœux les encyclopédistes et celle de Mairan, lequel ne fait pas l'économie de la matière subtile comme principe explicatif⁴.

En somme, s'il existe chez Mairan ou Molières un « esprit systématique », touchant la méthodologie expérimentale ou l'organisation des propositions des *Leçons de Physique*, esprit consistant en l'existence d'un ordre dans les parties d'une science les faisant dépendre mutuellement les unes des autres et où les premières expliquent les dernières⁵, « cet esprit » ne se départit jamais chez eux d'un « esprit de système » puisqu'en dernier ressort il existe une cause physique postulée, à savoir les petits tourbillons, dont le jeu d'équilibre/déséquilibre constitue la source des phénomènes naturels. Le physicien doit alors avoir pour finalité de regrouper entre eux des faits autour d'une unique « cause mécanique » et, selon Launay, ne pas s'arrêter aux phénomènes mais « monter jusqu'à la connoissance des causes qui sont capables de produire ces effets » : tel est le projet que s'assigne Molières lorsqu'il énonce réconcilier Descartes et Newton en comblant ce qu'il nomme le « mécanisme interrompu » par le « mécanisme réformé » des petits tourbillons. La conjecture ne possède pas qu'une vertu heuristique et tout ce qui est observé et expérimenté doit être relié à une cause première. Grands et petits tourbillons forment pour Keranflech une « Hypothèse complète », et si les explications du mécanisme peuvent être perfectibles en aucun cas ces causes ne sauraient être révoquées ; Molières affirme être « persuadé » et « convaincu » qu'on

appliqués à cet objet seront d'autant plus féconds qu'ils seront en plus petit nombre. Cette réduction, qui les rend d'ailleurs plus faciles à saisir, constitue le véritable esprit systématique qu'il faut bien se garder de prendre pour l'esprit de système ». Pour la préface de Mairan, voir Partie II, Chapitre II. Sur cette critique de D'Alembert à l'encontre de cette préface, voir Hankins, *Jean d'Alembert, Science and the Enlightenment*, p. 78-80 ; McNiven Hine, « Dortous de Mairan and the Eighteenth Century Systems Theory » ; Le Lay et Rémy, « *La Dissertation sur la glace (1749)* » ; Chabot et Breteil, « La réception épistémologique ».

- 1 D'Alembert, « Physico-Mathématiques », *Encyclopédie*, t. XII, p. 537a : « on ne pourra se flatter d'avoir trouvé les véritables causes des mouvemens des planetes, que lorsqu'on pourra assigner par le calcul les effets que peuvent produire ces causes, & faire voir que ces effets s'accordent avec ceux que l'observation nous a dévoilés ».
- 2 D'Alembert, « Expérimental », *Encyclopédie*, t. VI, p. 301a. Voir aussi D'Alembert, « Physique », *Encyclopédie*, t. XII, p. 540a.
- 3 Pour ce constat, voir Chabot et Breteil, « La réception épistémologique ».
- 4 Chabot et Breteil, « La réception épistémologique », p. 401. Voir aussi p. 397 et p. 399 : Mairan inscrit « la recherche du physicien dans le périmètre d'un être de raison dont l'existence *a priori* suppléerait par provision aux insuffisances de l'observation », en l'occurrence l'éther sous la forme de petits tourbillons. McNiven Hine souligne la proximité de la conception des bons et des mauvais systèmes de Mairan et de Condillac ; elle insiste à juste titre sur la méthodologie expérimentale développée par Mairan mais semble minimiser le rôle de la matière subtile qui en dernier ressort rend compte chez Mairan de l'expérience. Voir McNiven Hine, « Dortous de Mairan and the Eighteenth Century Systems Theory ».
- 5 Condillac, *Traité des systèmes*, p. 1.

ne pourra « jamais renverser » le « mécanisme général » qu'il propose, à savoir celui des petits tourbillons¹.

EXPERIENCES ET SYSTEMES CHEZ NOLLET

Le deuxième tome des *Leçons de physique expérimentale* de Nollet contient un « Appendice, touchant les tuyaux capillaires, & les causes immédiates de la fluidité & de la solidité des corps ». L'analyse ci-dessous proposée de ces travaux sur la capillarité² vise seulement à suivre la méthodologie mise en place par le savant pour justifier le recours à un fluide subtil comme principe explicatif et les propriétés qui sont attribuées aux matières subtiles : le mécanisme proposé cherche alors à se défaire de considérations systémiques et de « conjectures » sur la nature de ces fluides.

En supposant un vaisseau rempli d'un liquide et qu'un tube capillaire y soit plongé verticalement, Nollet distingue trois types d'explications pour la capillarité : la première repose sur une inégalité de pressions d'un fluide – l'air ou une matière plus subtile –, la pression étant exercée plus librement sur la surface du liquide contenu dans un vaisseau qu'au sommet du liquide situé dans le tube capillaire³ ; la seconde s'appuie sur l'adhérence des parois du verre sur le liquide (*ibid.*, p. 408-410) ; la dernière suppose une attraction exercée par le verre (*ibid.*, p. 410). Sur ce dernier point, Nollet rapporte cette idée de « Newtoniens » que le verre attire l'eau « plus que l'eau ne s'attire elle-même », et qu'elle s'élève dans un tube jusqu'à ce que son poids équilibre « la force attractive qui réside dans la surface intérieure du tuyau ». Ainsi, « l'eau s'élève plus haut dans les petits tubes que dans les gros ; parce que leur surface est plus grande relativement à la solidité de la colonne d'eau, & les parties du milieu sont moins éloignées du verre qui les attire » ; « le mercure se tient plus bas que le niveau dans ces sortes de tubes, parce qu'étant plus dense que le verre, il s'attire plus lui-même que le tuyau ne peut l'attirer » (*ibid.*, p. 421-422)⁴.

Nollet évoque alors Jurin lequel constate que la loi empirique d'une élévation du liquide en proportion inverse du diamètre du tube (loi dite de Jurin) ne saurait être justifiée en supposant une « force attractive [...] proportionnelle à la surface intérieure du tuyau »⁵. Il rapporte des expériences de Jurin qui recourt à un tube de type *AB* (Fig. 42) composé de deux parties *AC*, *CB* de diamètres différents, celui de *CB* excédant celui de *AB*. Avec *B* au contact de la surface de l'eau contenue dans un récipient, et en remplissant ce tube d'eau jusqu'à l'extrémité *D*, l'eau demeure à une hauteur *BD* alors qu'avec un tube de même diamètre que *CB* elle ne l'élèverait que de *BE*. Au demeurant, *BD* correspond à la hauteur qu'atteindrait

1 Pour ces différents points et ces citations, voir Partie II, Chapitre II.

2 Il s'agit d'expliquer pourquoi un liquide s'élève spontanément dans un tube fin ou y demeure constamment suspendu au-dessus du niveau défini par la pression atmosphérique. Pour un aperçu de ces phénomènes des années 1740 à 1780, voir Chabot et Fabrice Ferlin, « Capillarité, adhésion, cohésion : physique explicative et physique expérimentale chez Dutour de Salvert (1711-1789) », dans Pierre Crépel et Jean Ehrard (dir), *Etienne-François Dutour de Salvert (1711-1789). Un physicien auvergnat du XVIII^e siècle*, L'Harmattan, Paris, 2014, p. 227-301.

3 Nollet, *Leçons de physique expérimentale*, t. II (1743), p. 403-408.

4 Pour ces attractions de la surface intérieure du tube et des particules du liquide entre elles, voir Francis Hauksbee, *Physico-Mechanical Experiments on Various Subjects*, Londres, J. Senex, 1719 (2^e éd.), p. 194-217 ; James Jurin, *An Account of some new Experiments, relating to the Action of Glass Tubes upon Water and Quicksilver*, dans *Philosophical Transactions*, Vol. XXX, For the Years 1717, 1718, 1719, Londres, W. and J. Innys, 1720, Novem-Decemb. 1719, n^o 363, p. 1083-1096. Sur ces « Newtoniens » et la capillarité, voir John Rowlinson, *Cohesion, a Scientific History of Intermolecular Forces*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004, p. 2-82.

5 Nollet, *Leçons de physique expérimentale*, t. II (1743), p. 423-425. Nollet mentionne à la p. 423 « *M. Jurin Trans. Phil. n. 255. art. 2. & n. 363. art. 2.* » (il s'agit en fait du n^o 355) et précise que les « dissertations de M. Jurin » figurent dans Roger Cotes, *Leçons de Physique Expérimentale, sur l'Equilibre des Liqueurs, & sur la Nature & les propriétés de l'Air*, (trad. Le Monnier), Paris, David fils, 1742 : les pages 410 à 446 de ce livre correspondent à des traductions de Jurin, *An Account of some Experiments shown before the Royal Society ; with an enquiry into the cause of the Ascent and Suspension of Water in Capillary Tubes*, dans *Philosophical Transactions*, Vol. XXX, Jan. - April 1718, n^o 355, p. 739-747 et Jurin, *An Account of some new Experiments*.

l'eau avec un tube de diamètre égal à celui de *AC*. En renversant le tube, l'eau descend jusqu'au point *F* et la hauteur *GF* égale celle qu'un tube de diamètre identique à celui de *CB* lui ferait atteindre. Il suit que « si la hauteur des colonnes d'eau soutenues dépendoit de l'attraction de toute la surface intérieure, la liqueur ne devrait pas se soutenir plus haut que le point *E* dans la première ; & dans la seconde elle excéderoit la hauteur *F*, puisque la plus longue partie du tuyau qui la contient est, par supposition, d'un diamètre propre à la faire monter d'une quantité égale à *BD* »¹.

Des expériences guident alors Jurin vers une autre explication, à savoir que « l'attraction du tuyau n'agit que par la partie annulaire de la surface intérieure, où se termine la colonne de la liqueur »². Mais Jurin reconnaît lui-même les limites de cette interprétation. En considérant un entonnoir touchant la surface de l'eau et terminé en *H* par un tube capillaire (Fig. 43), la hauteur de cet entonnoir n'excédant pas celle qu'atteindrait le liquide dans un tuyau du diamètre de celui en *H*, il s'avère que l'entonnoir peut rester plein et alors « si l'attraction annulaire soutient la colonne *HI*, comment la grande quantité d'eau, qui l'environne se soutient-elle ? »³ Un tel phénomène ne résulte ni d'une attraction du verre au niveau de *K*, *L*, et ni « vraisemblablement » de la seule « attraction annulaire »⁴.

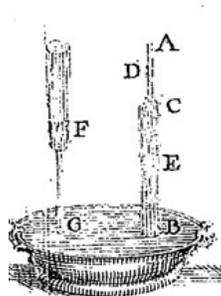


Fig. 42 : Nollet, *Leçons de physique* (1743), pl. 2, fig. 15

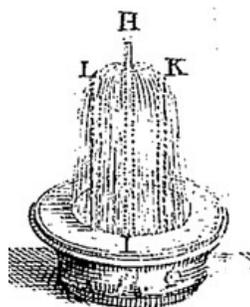


Fig. 43 : Nollet, *Leçons de physique* (1743), pl. 2, fig. 16

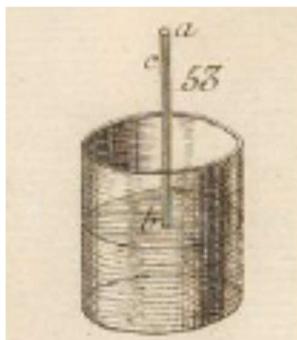


Fig. 44 : Cotes, *Leçons de Physique* (1742), pl. 5, fig. 53

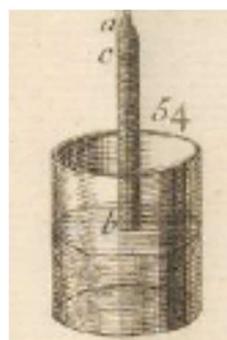


Fig. 45 : Cotes, *Leçons de Physique* (1742), pl. 5, fig. 53

- 1 Voir Nollet, *Leçons de physique expérimentale*, t. II, p. 424-425. Jurin note qu'une même cause (la même surface interne des deux tubes qui devrait causée l'attraction), produit alors deux effets différents (les volumes d'eau soutenus sont inégaux). Voir, Cotes, *Leçons de Physique Expérimentale*, p. 416-417.
- 2 Nollet, *Leçons de physique expérimentale*, t. II, p. 424-425 : les expériences mentionnées ci-dessus montrent que « cette élévation, ou suspension de liqueur, dépend donc plutôt de la partie annulaire du verre où se termine la colonne ; puisque la hauteur [d'ascension du liquide] change avec le diamètre de cet anneau ». Voir Cotes, *Leçons de Physique Expérimentale*, p. 417-419.
- 3 Nollet, *Leçons de physique expérimentale*, t. II, p. 426.
- 4 *Ibid.*, p. 426-427. L'expérience d'un tube semblable à celui de la Fig. 6 partiellement rempli d'eau et capable de la soutenir invalide le recours aux forces de la surface convexe du verre. Par ailleurs, « on ne peut pas attribuer vraisemblablement » la suspension de l'eau dans l'entonnoir à l'adhérence qu'elle a avec la colonne *HI* laquelle serait attirée par la partie capillaire *H*. Voir Cotes, *Leçons de Physique Expérimentale*, p. 424-426.

Dans l'hypothèse d'une attraction annulaire, une colonne d'eau serait soutenue par l'extrémité *a* d'un tube capillaire *abc* de diamètre constant (Fig. 44), bien que *a* n'agisse pas « immédiatement » sur toutes les parties de l'eau, sauf sur celles qui lui sont « contiguës » et « proches pour être dans sa Sphere d'attraction qui ne s'étend qu'à une très-petite distance »¹. Si l'eau en dessous de *c* ne se sépare pas de celle au-dessus, ceci résulte de l'action de *c* d'intensité égale à celle de *a* ; de même force que *a*, l'anneau *c* peut donc soutenir une colonne *ab* et donc *a fortiori* une plus petite *cb* (*ibid.*, p. 429-430). Mais dans le cas du tube composé de la Fig. 45, il s'avère plus délicat d'expliquer pourquoi « chaque partie d'eau dans l'endroit le plus large du Tube, comme en *c*, n'abandonne pas celle qui est au-dessus & ne descend pas, puisque l'anneau *c* est beaucoup trop large pour pouvoir soutenir une colonne d'eau aussi longue que *cb* », une colonne plus longue que celle que devrait soutenir un tube de diamètre *c* (*ibid.*, p. 430-431).

La réponse de Jurin pour expliquer la capillarité consiste alors à recourir à « un milieu [...] subtil » :

quoiqu'un tel milieu puisse pénétrer également les pores de l'eau du Gobelet, & du Tuyau capillaire, cependant il agira avec toute sa force sur les parties solide de l'eau [...] qui en composent la surface dans le Gobelet, au lieu que de semblables parties solides dans le Tube, qui se trouveroient directement sous les parties solides de cette surface de l'eau du Gobelet, seroient à couvert de cette pression, d'où s'ensuit qu'il y auroit une moindre pression de ce milieu sur la partie de l'eau enfermée dans le Tuyau capillaire, que sur une égale surface de l'eau de la Cuvette : de façon que la colonne d'eau suspenduë dans le Tube, pourroit être soutenuë par la différence entre ces deux pressions (*ibid.*, p. 431-432).

Concernant l'existence de ce milieu, Jurin renvoie « à ce qu'en a dit notre illustre Président, dans les questions qui sont à la fin de la dernière édition de son *Optique* » (*ibid.*, p. 433)².

Nollet en conclut que,

M. Jurin [...] avec toutes les meilleures intentions du monde pour la vertu attractive, & toute l'habileté d'un Physicien accoutumé depuis long-tems aux expériences, est obligé d'avoir recours à la pression d'un milieu assez subtil, pour pénétrer le récipient, & qui agissant plus librement sur la surface du vase, que sur la liqueur du tuyau qui y est plongé, peut être la cause de cette suspension au-dessus du niveau. C'est bien avouer l'insuffisance de l'attraction, pour expliquer les propriétés des tubes capillaires³.

Concernant un tel fluide, selon Nollet

il y a bien peu de Physiciens qui ne l'admettent ; & dans le petit nombre de ceux qui s'obstinent à le nier, on doit être surpris quand il s'en rencontre quelques-uns, à qui l'on ne peut contester le génie de l'observation & l'habitude des expériences. Car alors on ne peut pas supposer qu'ils ignorent les faits qu'on peut citer en faveur de cette opinion. Celui de tous les Philosophes modernes aux opinions duquel il semble que le vuide convînt le mieux, M. Newton n'a point refusé de reconnoître un milieu beaucoup plus subtile que l'air, lequel milieu, dit-il, reste dans le vuide après qu'on en a pompé l'air. On voit par l'usage qu'il en fait, par l'étendue qu'il lui donne, par les fonctions qu'il lui attribue combien il croyoit que cette matiere pouvoit avoir de part dans les opérations les plus secretes de la nature⁴.

Nollet poursuit en constatant que Jurin ne fait « nulle difficulté [...] d'adopter cet air subtil, lorsqu'il trouve l'attraction en défaut », lequel Jurin, précise Nollet, « pour s'épargner la peine

1 Cotes, *Leçons de Physique Expérimentale*, p. 430.

2 Newton occupe la charge de président de la Royal Society de 1703 jusqu'à sa mort.

3 Nollet, *Leçons de physique expérimentale*, t. II, p. 428.

4 *Ibid.*, p. 453-454. Pour la phrase en italique, Nollet renvoie au « *Traité de l'Opt. liv. 3. quest. 18. & suiv.* » de Newton : la question 18 porte sur la transmission de la chaleur produite par « les vibrations du Milieu beaucoup plus subtil que l'Air », Newton, *Traité d'optique*, p. 492.

d'en prouver l'existence » s'appuie sur Newton¹. Si ce milieu « résistant » figure chez ceux-là même qui sont les mieux placés pour réfuter le plein – les « newtoniens » –, « il seroit superflu de s'arrêter à prouver combien il est digne d'être reçu par tout Physicien qui n'admet que des causes mécaniques » : « depuis Descartes, la règle la plus généralement observée, a été de chercher à expliquer par le choc ou l'impulsion des fluides invisibles, tout ce qui ne peut l'être par l'action de l'air sensible, ou des autres corps dont nous pouvons voir les opérations » (*ibid.*, p. 454-455). Nollet poursuit alors en affirmant que

ce qui révolte ordinairement ceux qui prennent un autre parti, c'est la fécondité des effets, & le grand nombre de propriétés qu'on suppose dans le détail des phénomènes, à une matiere dont l'existence sent encore l'hypothèse. Il est vrai que quelques Philosophes ont donné carrière à leur imagination, pour expliquer les diverses fonctions de ces fluides subtils ; mais quand Descartes se seroit trompé sur le nombre, & qu'il y en auroit plus ou moins que trois sortes ; quand les mouvemens particuliers de leurs parties seroient toute autre chose que les petits tourbillons imaginés par le P. Malbranche ; en un mot, quand on pourroit regarder comme des systèmes hazardés, tout ce qu'on a dit, touchant la manière d'être & d'agir de cette matiere qui peut être par tout où les autres fluides les plus grossiers n'ont plus d'accès, s'ensuivroit-il que son existence fût aussi douteuse ? On est parfaitement d'accord à présent qu'il y a une matiere qui nous éclaire, & qui nous fait voir les objets. Seroit-on en droit de la contester, parce qu'il y a différentes opinions sur la nature de ses parties, & sur sa propagation ? (*ibid.*, p. 455-456)

Tout en s'appuyant sur le mécanisme, il convient alors pour Nollet de « retenir son imagination », de recourir à un fluide subtil, et ce « avec presque tous les Physiciens », mais en ne lui attribuant que les propriétés que les phénomènes indiquent d'une « maniere distincte », et sans supposer d'autres explications que ce que « l'analogie la plus simple & la plus conséquente pourra nous permettre » (*ibid.*, p. 456). On retrouve ici, dans le cadre de la philosophie mécanique, cet esprit « timide », selon le mot de D'Alembert, invitant à ne pas conférer à la matière subtile un « grand nombre de propriétés qu'on suppose dans le détail des phénomènes », à atténuer ainsi la « fécondité des effets », à rejeter les « systèmes hazardés » concernant « la manière d'être & d'agir de cette matiere ». Pour Nollet, le rejet des abus de l'« imagination » de « Philosophes » ne doit pas conduire à celui des fluides subtils.

En suivant le raisonnement de Nollet concernant la cohésion des corps, « l'analogie la plus simple & la plus conséquente » le conduit à soutenir qu'un fluide subtil cause l'adhérence de la matière : la pression de l'air permet de comprendre que des plaques de marbre résistent à leur séparation ; la résistance éprouvée dans le vide à la séparation des plaques suggère l'action d'un fluide². Ce fluide pénètre donc le verre de la machine pneumatique et presse des plaques de marbre par les seules « parties solides qui s'opposent à son passage » ; il soutient dans le vide un liquide au-dessus de son niveau, car la pression en haut du tube s'avère moindre que celle exercée en bas sur la surface du liquide puisque les « parties solides du verre » empêchent en partie le passage du fluide (*ibid.*, p. 456-459). Ces raisonnements indiquent alors « d'une maniere assez vraisemblable les causes immédiates de la dureté & de la fluidité des corps » (*ibid.*, p. 459)³. Ainsi, l'expérience et des analogies suggéreraient le recours à un fluide subtil. Ce dernier ne reçoit pas des propriétés spécifiques autres que celles données par l'expérience immédiate qui, par exemple, invite à conférer une élasticité à la

1 Nollet, *Leçons de physique expérimentale*, t. II, p. 454.

2 A propos de la cohésion entre elles des « molécules les plus subtiles » d'un corps, Nollet remarque que « la cause de cette cohérence agit sur des sujets qui échappent à nos yeux, & dans des endroits où nous ne pouvons la suivre. Ce n'est donc que par analogie & par conjecture que nous en pouvons juger : cette voie n'est pas la plus sûre pour arriver au vrai : mais on peut se la permettre lorsqu'on n'en a pas de meilleure ; & quand on en use avec retenue, elle peut conduire à des découvertes », *ibid.*, p. 446-447.

3 Ces deux états dépendent d'une même cause : « l'air subtil [...] fixe les parties d'une matière, lorsque la pression extérieure excède la réaction qu'il fait en-dedans ; & c'est ce même fluide qui rend & entretient les parties mobiles, en s'introduisant entr'elles en suffisante quantité », ce qui cause la fluidité, *ibid.*, p. 467.

matière électrique ; Nollet évoque alors un fluide élastique sans pour autant rendre raison de cette élasticité et, en particulier, sans évoquer les petits tourbillons¹.

Nollet écrit ne pas privilégier le système de Descartes ou Newton, et écarter « les questions métaphysiques » relatives aux matières traitées dans son ouvrage, l'auteur précisant que pour cet aspect « on pourra lire avec beaucoup de satisfaction les ouvrages de P. Malebranche, & sur-tout celui qui a pour titre, *la Recherche de la Vérité* »². Il souligne que les physiciens qui admettent l'attraction se partagent en deux catégories : « les uns, conformément à l'esprit de M. Newton, regardent l'attraction comme un fait qui a lieu dans toute la nature, & qui pourroit avoir, comme tous les autres, une cause mécanique qu'il est louable de chercher, mais qu'ils désespèrent, en quelque façon, de pouvoir trouver. Les autres tranchent le mot ; plus hardis que leur chef, ils prétendent que la vertu attractive est un principe qui n'a d'autre cause que la volonté du Créateur », et Nollet évoque alors un « penchant naturel », une « force innée » sans « aucune impulsion étrangère ». Il juge que « ceux qui n'admettent les attractions que comme des faits, [...] paroissent être dans la route ordinaire. Les Cartésiens les plus fidèlement attachés aux causes mécaniques, s'appuyent tous les jours sur des phénomènes, dont la cause est encore obscure, & leur donnent tels noms qu'il leur plaît : l'*adhérence*, la *viscosité*, la *flexibilité*, le *ressort* de certaines matières, servent souvent à expliquer leurs propriétés, & l'on n'en est pas choqué. On ne doit point l'être non plus du mot d'attraction, s'il n'explique qu'un fait qu'on se dispense d'expliquer »³. En supposant que le Créateur établisse une telle attraction de même que l'impulsion et que ces deux causes n'aient rien d'incompatibles « qu'en peut-on conclure, sinon que Dieu a été libre d'employer deux moyens au lieu d'un ? »

Mais, poursuit Nollet, « de ce qu'une chose pourroit être [l'attraction], s'ensuit-il qu'elle est en effet ? » et « si certains mouvemens n'ont point encore été expliqués par les loix de l'impulsion, sont-ils démontrés inexplicables ? »⁴ Nollet juge alors « sage & judicieuse » la réflexion de Saurin qu'il cite : « il ne faut pas nous flatter que dans nos recherches de Physique nous puissions jamais nous mettre au dessus de toutes les difficultez ; mais ne laissons pas de philosopher toujours sur des principes clairs de Méchanique ; si nous les abandonnons, toute la lumiere que nous pouvons avoir est éteinte, & nous voilà replongez de nouveau dans les anciennes ténèbres du Peripathetisme, dont le Ciel nous veuille préserver »⁵. Nollet écrit au sujet de l'attraction de Newton que « le fond de la chose reste toujours à juger » et qu'elle peut être « l'effet de quelque impulsion physique, & M. Newton n'a osé prétendre le contraire ». Aussi, rien ne justifie la transformation opérée par ses disciples d'une « attraction de fait » en une « vertu inhérente »⁶. Nollet accorde alors un surcroît d'intelligibilité au mécanisme : « s'il étoit vrai que l'on eût pas des raisons plus fortes pour admettre l'air subtil, j'aurois encore à dire, hypothèse pour hypothèse, je crois qu'il est plus

1 Voir Partie II, Chapitre IV.

2 Nollet, *Leçons de physique expérimentale*, t. I, Préface, p. xxij. Concernant l'évocation de Newton ou Descartes, *ibid.*, p. xx-xxj.

3 *Ibid.*, t. II, p. 411-413.

4 *Ibid.*, p. 413-414.

5 Saurin, *Examen d'une difficulté considerable proposée par M. Hughs*, p. 148. Saurin précise quelques pages avant que nos idées ne nous représentent rien de plus clair et de distinct que l'impulsion comme cause physique de la pesanteur, elle seule est « intelligible & raisonnable » ; « si nous ne réussissons pas à l'expliquer par ce principe, cela marquera sans doute l'insuffisance de nos lumieres, mais non pas celle du principe », *ibid.*, p. 133-134. Voir Nollet, *Leçons de physique expérimentale*, t. II, p. 414-415.

6 *Ibid.*, p. 417-418. Nollet demande si les « disciples » en revenant sur les faits portant le maître à l'attraction générale « auroient vû autre chose que lui ? » Ou « auroient-ils apperçû dans la chose même, l'impossibilité d'une explication méchanique ? » Ou encore considèrent-ils comme des « preuves de l'attraction, toutes les applications infructueuses que l'on a faites jusqu'ici de l'impulsion ? »

sûr de raisonner sur des principes mécaniques & bien intelligibles, que de s'appuyer sur des nouveautés qui ne se présentent pas sous des idées familières à l'esprit »¹.

CONCLUSION

Les critiques adressées à l'encontre des petits tourbillons reposent essentiellement sur la mise en évidence de l'impossibilité de leur formation et de leur équilibre au regard de lois mécaniques. En particulier, la matière « molle », autrement dit sans force avant sa conformation du système en tourbillons – eux seuls causant la dureté et donc une résistance – rend illusoire cette genèse. En les supposant formés, un tel système doit se dissiper et entraîner un « cahos », soit une absence de conservation du mouvement et de l'équilibre global. Ces critiques, adressées essentiellement à l'encontre des *Leçons de physique* de Molières, concernent plus généralement tous les adeptes d'un tel système. Par ailleurs, ces *Leçons* font l'objet d'un examen quasi complet de la part de Sigorgne dont une autre ambition est de dénoncer les incohérences de propositions entre elles.

Pour D'Alembert les petits tourbillons ne valent pas mieux que les grands, l'impossibilité de ceux-ci est un lourd préjudice à l'encontre de ceux-là. Puis les principes mêmes du mécanisme demeurent hypothétiques, et dans cette philosophie naturelle il ne s'agit pas d'expliquer comment les choses « s'exécutent réellement » mais comment « tout cela auroit pû avoir lieu ». C'est une méthode de philosopher qui se voit donc dénoncée, l'*Encyclopédie* prolongeant les réflexions de Condillac sur les systèmes. On trouve chez Sigorgne, dès 1741, un semblable rejet, l'auteur fustigeant l'attachement à un système auquel on veut tout ramener et faire tout dépendre « comme si c'étoit le vrai système de la nature ». Mais, écrit Sigorgne, les expériences ont détruit tous les systèmes et on ne pourra jamais rendre raison des phénomènes par un seul principe. Il remarque que, d'une part, « chaque Cartésien » a son système explicatif pour un même phénomène et, conséquemment, à partir de mêmes principes des enchaînements déductifs différents et, d'autre part, qu'il faut souvent tout « refondre » l'enchaînement des principes à leurs conséquences « à l'occasion d'une nouvelle expérience ou d'une difficulté qu'on avoit pas prévue »². Cette idée est développée par Condillac selon lequel l'immensité de la tâche et la multiplicité des phénomènes ignorés qui pourraient invalider un raisonnement rendent illusoire qu'un système puisse tout expliquer. Par ailleurs, pour Sigorgne comme pour Condillac, l'expérience est le point de départ et le guide des enchaînements déductifs. Ce qui chez Molières et Keranflech constituait un des traits du mécanisme, à savoir la possibilité de rendre perfectible le système qui est sans cesse remis à l'ouvrage, est ici considéré comme une faiblesse, au point que les déductions puissent

1 *Ibid.*, p. 473. Nollet estime que « le principe des attractions [...] a beaucoup perdu de sa simplicité, passant des mains de Newton dans celles de ses disciples ». Si cette force « suffit à tout » pour les phénomènes célestes, pour les phénomènes terrestres « la vertu attractive est un Prothée qui change souvent de forme ». Ainsi, par exemple, concernant ces « parties » qui composent un liquide qui s'attirent mais aussi qui se repoussent avec violence sous l'état de vapeur : « ce langage [celui des forces attractives et répulsives] est-il bien celui d'une bonne Physique, & ne devons-nous pas craindre qu'en nous y accoutumant, & qu'en mettant ainsi les attractions & répulsions à toutes sortes d'usage, on ne se dispense trop légèrement des recherches si nécessaires aux progrès de nos connoissances, & qu'on ne s'interdise de cette manière plusieurs découvertes qui en seroient le fruit », *ibid.*, p. 475-476. Pour ces attractions et ces répulsions, et ce type de critiques émises par Molières, voir Partie II, Chapitre III.

2 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 185-187. Au sujet de l'explication de la pesanteur Sigorgne remarque « qu'à peine trouvera-t-on deux Cartésiens parfaitement d'accord, & je ne crois pas même qu'entre les défenseurs des petits tourbillons, quoique partans du même principe, on puisse en trouver un qui suive exactement l'idée de M. de Molières : ce qui est une marque presque infailible que cette nouvelle explication de la pesanteur aura le même sort que celles des Descartes, des Huygens, des Malebranches, des Varignons qui sont tombées comme elles le méritoient », *ibid.*, p. 141-142.

ressortir à des pratiques quasi-magiques et rendre compte de phénomènes inexistant¹. Ainsi, au sujet des systèmes, « le bon est peut-être de n'en avoir pas »².

L'expérience est aussi convoquée par des appels à la « modestie » du physicien et par la dénonciation d'« abus » par des savants qui pourtant ne se réclament pas des hérauts de la science de Newton, ainsi de Nollet pour qui les phénomènes s'interprètent via le mécanisme. Tout en concevant l'existence d'une matière subtile, Ratte souligne l'impossibilité d'expliquer la pesanteur par le mécanisme et suggère d'adopter l'attitude de Newton, à savoir mathématiser les effets. Pour sa part, Castel réfute le système des petits tourbillons pour mieux embrasser celui de Descartes. Ces différents aspects mettent en relief la diversité des approches au sein de la philosophie mécanique, et les problèmes que posent de regrouper sous un même flambeau – les « cartésiens » – des savants qui bien que recourant à une matière subtile la conçoivent différemment et n'élaborent pas forcément tous des systèmes.

1 Sigorgne, *Réplique*, « Avis », (non paginé) : « qu'on me propose un fait faux, je l'expliquerai avec plus de facilité encore que s'il étoit réel. Une expérience m'embarasse-t-elle, je fais un tour de bâton, & la difficulté disparaît ; & cette expérience fût-elle une démonstration contre moi, j'aurai assez de ressources pour faire voir au contraire, à ceux qui ne réfléchissent que médiocrement, qu'elle fait entièrement pour mon système. Donnez-moi des petits Tourbillons & j'explique tout, vrai ou faux, cela m'est égal ».

2 Sigorgne, *Examen & Refutation*, p. 187.

CONCLUSION GENERALE

Ce livre examine comment le XVIII^e siècle s'approprié, amende, rejette des réflexions de Malebranche sur la causalité et les états de mouvement et de repos, ainsi que son système des petits tourbillons. L'étude souligne que l'occasionalisme physique est répandu mais que la métaphysique du mouvement malebranchiste et son devenir ne se présentent pas sous ce seul trait : le philosophe est à l'origine d'une pensée originale sur le concept cartésien de force des corps au repos qui est une caractéristique fondamentale de sa physique. Une pensée qui est notamment le point de départ de critiques du concept d'inertie, de l'énoncé de nouvelles lois de la nature, ainsi que d'explications de phénomènes physico-chimiques à l'aide de petits tourbillons de matière subtile.

Cet ouvrage prouve ainsi que cet occasionalisme est présent dans la physique de l'époque, que le rejet du concept cartésien dont il analyse les conséquences est commun à plusieurs savants, enfin que Malebranche est à l'origine d'une des formes prises par la philosophie mécanique au XVIII^e siècle, une forme largement diffusée dont il définit en partie les principes, les lois et les méthodes.

INERTIE ET OCCASIONALISME

Le rejet de l'équivalence ontologique entre mouvement et repos de Descartes implique de ne considérer l'activité des corps qu'à travers le prisme de leurs mouvements. La première partie de cette étude montre qu'une telle conception conduit alors à :

- énoncer des lois de la nature qui remplacent celles de Descartes ;
- fonder la cohésion des corps sur le mouvement et sur la pression d'une matière subtile ;
- expliquer ce qui relève d'un effet de la force d'inertie par la résistance d'un milieu et/ou par un principe de conservation du mouvement, et penser l'interaction dans le cadre logique de l'*actio-passio* plus que dans le cadre théorique de l'action-réaction ;
- critiquer des concepts dynamiques et donner naissance à des réflexions autour de l'inertie et de l'action physique qui entraînent une conception nomologique de la causalité.

Pour certains savants, la force des corps au repos introduite par Descartes s'apparente à un « faux principe », voire à un être métaphysique, et relève d'une erreur méthodologique en tant qu'elle contribue à multiplier les principes sans raison : Descartes aurait dû généraliser son explication de l'élasticité des corps dans laquelle il fait intervenir la matière subtile à l'explication de la cohésion des corps. Le rejet de cette force et ses conséquences se retrouvent dans un *corpus* varié comprenant des mémoires, des prix et des débats académiques, des traités et des manuels, un *corpus* qui traite de cette question de la dureté ainsi que de la nature du mouvement et du repos, et du choc des corps. Varignon et Saulmon illustrent que ce rejet ne signifie pas approbation de l'interprétation de la cohésion basée sur la pression d'un fluide. Puis l'absence de force pour le repos n'est pas partagée par tous les auteurs de la mouvance occasionaliste (La Forge, Lamy et Trabaud récusent cette thèse). D'autres qui soutiennent l'existence de causes secondes font du mouvement la seule source d'activité (Crousaz). Par ailleurs, la notion d'indifférence de la matière au mouvement et au repos ne constitue pas un élément décisif pour refuser la force de repos (pour Pardies et Leibniz cette indifférence conduit à une absence de résistance ; pour Régis et Keill elle s'accorde avec l'équivalence ontologique cartésienne et la force d'inertie). Enfin, l'identification de l'essence de la matière à l'étendue, qui conduit à ne pas attribuer d'efficace à la matière, n'est pas davantage la raison d'une telle exclusion. Ainsi, l'abandon de cette force n'est pas une conséquence directe de l'occasionalisme mais plutôt la conséquence d'une conception propre à Malebranche relative au mode d'action divin qui accorde un supplément d'être au mouvement.

Les différentes versions des règles du choc de Malebranche témoignent que ce refus de la force de repos entraîne une absence de conceptualisation de la force d'inertie. Des savants voient dans l'assimilation malebranchiste du repos à une « privation » ou à un « néant » l'origine d'une telle lacune (Leibniz, Clarke, Sigorgne, Du Châtelet). Accorder au seul mouvement le privilège d'une action conduit à ne pas conceptualiser cette force mais aussi à critiquer la pertinence de cette notion et celle de réaction et, conséquemment, à remettre en cause la loi d'égalité entre l'action et la réaction (Crousaz, Saulmon, Molières) ; ou bien encore conduit à supposer un « mécanisme caché » susceptible de rendre compte d'une résistance à une mise en mouvement (Mairan, Saulmon).

La force d'inertie ne s'apparente alors pour certains qu'à un nom exprimant un effet, qui abrège et rend commode les calculs. Cette conception rejoint des thèses issues directement de l'occasionalisme où cette force, et plus généralement toute action, relèvent de l'inconcevable. Ainsi Trabaud, qui fait sienne cette doctrine, prône de considérer la mécanique plutôt comme une science des effets mesurés que des causes, réduit la force à un simple nom, et remet en doute un des fondements de la conceptualisation de la force au premier XVIII^e siècle, à savoir l'axiome de proportionnalité entre les causes et leurs effets. Ces éléments, inspirés par l'occasionalisme et qui rejoignent donc dans leurs conséquences certains aspects du rejet malebranchiste de la force de repos, sont au cœur de la dynamique de D'Alembert.

Trabaud offre le témoignage que l'« occasionalisme physique » est répandu dans le paysage scientifique français du premier XVIII^e siècle, ce qu'exemplifient aussi des travaux sur la nature du mouvement et du repos et sur la cohésion de la matière (Crousaz, Lamy, Lozeran du Fesc). Mais ceci n'épuise pas ce que pourrait être le « malebranchisme physique » : l'absence de force des corps au repos a des conséquences sur la conceptualisation de l'inertie, et cette thèse qui est reconduite (Crousaz, Molières, Mazière etc.) ou qui est critiquée (Sigorgne, Clarke, Cheynet, Lamy etc.), mais quoiqu'il en soit qui est bien connue (outre ces auteurs, voir aussi dans l'*Encyclopédie*), est une caractéristique essentielle de la philosophie naturelle de Malebranche.

LES PETITS TOURBILLONS

Réformer les systèmes de Descartes et des « Cartésiens »

Essentielle car, outre les aspects évoqués ci-dessus, la non attribution d'une force au repos entraîne aussi une refonte du système de Descartes : selon Malebranche, « ce qui gâte le plus la Physique de M. Descartes est ce faux principe que le repos à de la force »¹. Les premières révisions des *Principes de la philosophie* de Descartes suite au rejet de cette force concernent la cohésion de la matière, les règles du choc de corps durs puis, en 1699 et dans l'*Eclaircissement XVI* de 1700 de *De la recherche de la vérité*, portent sur la lumière, les couleurs et le feu. En 1712, ce même *Eclaircissement XVI* contient aussi des travaux de mécanique céleste, sur la pesanteur et sur les lois de réfraction et de réflexion. Pour Malebranche le « vrai principe de la physique » est alors l'équilibre de petits tourbillons qui « par la rupture de leur équilibre qu'ils tendent sans cesse à rétablir, [font] tous les changemens qui arrivent dans le monde » ; principe associé à une « Loy générale » selon laquelle tous les corps – y compris l'éther – se meuvent du côté où ils subissent le moins de pression². L'aggiornamento du système de Descartes repose ainsi sur l'énoncé d'autres lois de la nature, sur une autre conception de la matière subtile et sur d'autres méthodes explicatives.

1 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 449.

2 Malebranche, RDV, *Eclaircissement XVI*, p. 270 et p. 302-303.

De la recherche de la vérité ne contient finalement qu'un nombre restreint de mécanismes et, en particulier, ne donne pas de récit cosmogonique autre que l'« abrégé » de physique cartésienne¹, et ne développe pas une théorie chimique. L'*Eclaircissement XVI* a alors une dimension quasi-programmatique : Malebranche y écrit que ses tourbillons servent à « réformer & perfectionner ce qu'il y a de plus général » chez Descartes mais que c'est « aux Lecteurs à faire cette réforme » complète. Dans le premier XVIII^e siècle, de nombreux savants considèrent ce texte comme fondateur d'un nouveau mécanisme palliant les difficultés des *Principes de la philosophie*, et ils reprennent alors à leur compte le « vrai principe de la physique » et la « Loy générale » de Malebranche. Ils complètent et prolongent ainsi la révision amorcée par Malebranche, notamment en modifiant l'éther de l'oratorien par la multiplication du nombre de tourbillons susceptibles de s'emboîter les uns dans les autres, en proposant plusieurs théories de la matière, en réinterprétant certains mécanismes physico-chimiques (par ex. des théories chimiques de nature corpusculaire, l'élasticité des corps « durs » de Huygens et sa propagation ondulatoire de la lumière) ou encore en expliquant des phénomènes plus récemment découverts tels que ceux liés à l'électricité (les expériences de Dufay, les flux électriques de Nollet et de Jallabert).

Descartes est donc le point de départ d'une philosophie naturelle qui s'en démarque. Molières écrit que Malebranche cherche à « détromper les Cartésiens par leurs propres principes, de certaines erreurs dans lesquelles il les voyoit engagés »² ; Malebranche entend corriger les erreurs de Descartes survenant « non par le défaut de sa méthode, ou la fausseté de ses principes », mais par « la difficulté de les suivre » dans des sujets trop composés³. Malebranche écrit devoir à Descartes « les sentimens que j'oppose aux siens »⁴, et sa physique repose sur l'application d'une « Méthode » dont Descartes aurait livré les principes, à savoir l'ensemble étendue-figure-mouvement, tout en n'appliquant qu'insuffisamment les préceptes. La réforme entreprise répond alors à une exigence de clarté, d'économie de principes, et s'appuie sur le rejet de « principes faux » : sont notamment reprochées à Descartes « ses suppositions », à savoir ce qui infondé au regard des principes mécaniques comme la force attribuée à l'état de repos, la réflexion des corps sans cause physique, le mouvement « confus » de sa matière subtile qui à force de collisions devrait se tarir⁵. Puis cette réforme repose sur l'énoncé des véritables « loix des mécaniques » tirées de la manière dont Dieu agit – le mouvement comme seule source de force – mais aussi de l'expérience : « Descartes n'avoit pas eu occasion de bien considerer les phenomenes, qu'une longue attention aidée de sa Méthode, nous a montrés. Privé de la vûë des experiences, que ses disciples ont fait depuis avec un grand succès, & une sagacité merveilleuse, il n'avoit garde de supposer dans la nature plus de mistere qu'il n'y en decouvroit »⁶. Ainsi, le « troisième élément » de Descartes se définit essentiellement par « l'irregularité » de ses « figures » ou « la grosseur » de ses parties, soit « un effet produit sans précaution »⁷. Or, les « nouvelles observations », notamment dues au microscope, informent de la constance et de la grande précision des opérations de la nature qui procèdent d'« un ordre très-déterminé dans les causes ». Par ailleurs, les « figures » que Descartes attribue aux corps composant les « mixtes » sont des « chimeres » qui résultent de « faux principes », comme la conservation du mouvement selon les lois du choc qu'il a « imaginées » et l'attribution au repos d'une

1 Avec des notes invitant à consulter l'*Eclaircissement XVI* qui compose la matière subtile de petits tourbillons.

2 Molières [1737], *Objection contre l'existence des petits Tourbillons*, p. 461.

3 Malebranche, RDV, VI, II, IV, p. 340.

4 Malebranche, RDV, VI, II, IX, p. 449.

5 Molières [1734], Leçon V, p. 322 et p. 315-316.

6 Molières [1736], Leçon VI, p. 11.

7 *Ibid.*, p. 11 et p. 16.

force assurant aux corps leur consistance : des principes erronés « de la façon que les loix du mouvement nous sont à présent manifestées »¹.

Les réformes de la physique de Descartes et de celle de « Cartésiens » pourraient se résumer autour des points suivants :

1/ puisque la force de repos participe à la cohérence du système de Descartes en intervenant dans la distribution des mouvements entre les éléments à travers les lois du choc, son éviction et le rejet des lois invitent à repenser l'organisation du monde et ses éléments ;

2/ il faut reconsidérer la dureté en soi attribuée aux globules du second élément et fonder le troisième élément à l'aide d'un mécanisme ;

3/ la matière à partir de laquelle tous les corps s'élaborent est en elle-même sans force, autrement dit « infiniment molle » – ses parties se séparent au moindre effort –, et elle est sans inertie ;

4/ seule la conformation en petits et grands tourbillons qui s'équilibrent assure à cette matière la possibilité d'agir et de conserver le mouvement de ce monde, les éléments « durs » de Descartes et leurs mouvements « confus » conduisant *a contrario* au repos : les tourbillons donnent le « ressort » nécessaire à la renaissance du mouvement lors du choc ;

5/ la permanence du mouvement circulaire tend à prendre le statut de loi de la nature se substituant à la loi de persistance du repos et du mouvement rectiligne des *Principes de la philosophie* ;

6/ du fait de la forme des petits tourbillons, la sphère constitue pour certains savants le modèle pour penser la forme des corpuscules ;

7/ il existe deux types de matière, une non pesante composée uniquement de petits tourbillons, l'autre pesante dont les parties sont mutuellement en repos.

Matière subtile et phénomènes physico-chimiques

La matière subtile se caractérise alors par des propriétés sans commune mesure avec la matière sensible, qu'il s'agisse de sa « promptitude », de sa « force », de son « ressort », de sa fluidité, de son absence de résistance – absence d'inertie et de viscosité – ou de sa résistance « insensible », et de son absence de pesanteur. Pour certains savants, les différents ordres de tourbillons constituent des milieux élastiques à part et propres à l'explication de phénomènes particuliers. Les petits tourbillons forment un réservoir de forces centrifuges dont l'équilibre repose sur un équilibre global du système du monde ; leurs déséquilibres et ruptures d'équilibre donnent localement naissance aux phénomènes naturels.

Systématiquement la chimie se fonde contre Descartes et ceux qu'on qualifie « Cartésiens » (Homberg, Lémery etc.) – généralement, ils attribuent aux corps des formes inexplicables au regard des vrais principes du mécanisme, et les mouvements dans leurs systèmes ne se conservent pas –, mais aussi contre ceux dénommés « Newtoniens » qui fondent les réactions sur des attractions et des répulsions (Newton, Hales, Keill, Boerhaave, 's Gravesande, E. F. Geoffroy etc.) Chez un auteur comme Molières, au compte-rendu expérimental des propriétés d'un « principe » (air, eau etc.) font suite une réfutation des théories concurrentes, l'élaboration de la structure du « principe » à l'aide des petits tourbillons en lien avec ses propriétés et l'explication de phénomènes par cette nouvelle structure. L'emboîtement de tourbillons de différents ordres comprenant ou non des corps pesants de tailles variables fonde les spécificités physiques des matières. L'analogie avec l'astronomie et les différents ordres d'infiniment petits des mathématiques légitiment les constructions de la matière dans l'invisible. Les réactions relèvent de ces structures et de

¹ *Ibid.*, p. 11-12. Voir aussi Molières [1734], Leçon V, Proposition I, p. 317 : « les expériences sur le mouvement [il s'agit de règles de collisions] sont si fort averées, que les Philosophes les plus attachés à Descartes ne font aucune difficulté de l'abandonner sur ces points » et, en particulier, à abandonner la force des corps au repos.

déséquilibres de tourbillons, la rupture d'équilibre de certains de même nature (par ex. entre molécules d'huiles) faisant qu'un principe peut se changer en un autre (pour ces différents points, voir Molières, Launay, Keranflech). La genèse et la propagation du feu reçoivent différentes explications, mais qu'elles s'appuient sur les molécules d'huiles (Molières, Launay, Keranflech) ou qu'elles ressortissent à une fermentation impliquant différents réactifs dont les « figures » sont essentiels aux processus (Lozeran du Fesc, Bouillet, Béraud), ces explications reposent sur des ruptures d'équilibre de tourbillons ; il en est de même pour les éclairs (Lozeran du Fesc, Molières). L'augmentation du poids de matières calcinées résulte du déséquilibre causé par l'action du feu chassant les molécules d'eau des pores de l'air lequel se dilatant n'a plus la force de soutenir des particules solides (Molières, Béraud). Les changements d'états de la matière sensible proviennent des variations du nombre et de la « force » des petits tourbillons, ces changements résultant là encore de déséquilibres (Mairan, Lozeran du Fesc, Keranflech). Conservation des mouvements, déséquilibres et ruptures d'équilibre fondent toute l'« activité » de la matière et la base des théories chimiques, qu'on attribue une même « figure » aux corpuscules ou des « figures » particulières.

Les « densités » de tourbillons sont liées à leurs « forces » et jouent un rôle clef pour justifier ces déséquilibres/ruptures d'équilibre. Le mot « densité » recouvre plusieurs significations qui renvoient à des mécanismes différents. Ainsi, les corps les plus denses contiennent une moindre quantité de tourbillons ceci donnant lieu à une moindre « force » à l'origine notamment de la réfraction et de la chute libre (Malebranche, Bouillet). Ou bien la plus grande densité de l'éther correspond à sa plus grande compression impliquant alors sa plus grande « force » (Béraud, J. (II) Bernoulli). Pour d'autres, les tourbillons voisinant les corps comprennent des particules solides émanant de ceux-ci ce qui rend ces tourbillons denses au sens de pesants. Il existe alors différentes conceptions sur la manière dont le gradient de densité varie au voisinage d'un corps. Les atmosphères et leurs densités fondent les phénomènes optiques qui ressortissent pour certains à une analogie avec les chocs élastiques et qui fondent des modifications (vitesses, directions, sens) de propagation des ondes lumineuses (Molières, Launay, Mairan, Keranflech). Les corps électriques et magnétiques possèdent aussi des atmosphères. Au-delà de la diversité des mécanismes proposés pour les phénomènes magnétiques et électriques, ces derniers reposent sur des différences de densités et donc de forces centrifuges de tourbillons qui créent des déséquilibres, et sur des retours à des situations d'équilibre, ces processus étant à l'origine de flux de tourbillons et de mouvements de corps sensibles (Molières, Béraud, Keranflech).

Ces différents points révèlent une économie de principes, pour certains savants une uniformité de la structure de la matière tant au niveau macroscopique que microscopiques, et l'uniformité des méthodes explicatives. Outre que le bien-fondé du système se verrait conforté par sa capacité explicative – par exemple, les petits tourbillons permettent d'interpréter des développements récents de la physique expérimentale tels que ceux de l'électricité – et sa cohérence globale, d'autres éléments viennent aussi le justifier. Ainsi, si les récits cosmogoniques possèdent une vertu pédagogique permettant de comprendre la formation et l'organisation du monde en partant de prémices simples, alors même que ces tourbillons seraient créés par Dieu instantanément (Molières), de telles prémices fonderaient aussi la pertinence du mécanisme. En effet, elles correspondent à des propositions de mécanique rationnelles et expérimentales reconnues par la communauté savante, propositions permettant notamment de justifier la permanence du mouvement des petits tourbillons ou encore de prouver la troisième loi de Kepler dans ce système. Tout l'effort de Molières consiste alors à asseoir la philosophie mécanique sur des propositions de mécanique rationnelle et à assigner à cette dernière des causes physiques : il donne des « Elémens » pour la « Physique » à l'instar d'Euclide pour la géométrie. Les petits tourbillons permettent à Gamaches de recourir à une loi expérimentale des frottements à l'aide de laquelle il retrouve

la loi de Kepler. Aux récits cosmogoniques se joignent aussi la description de laboratoires et l'évocation d'expériences parfois récentes et menées par des savants pouvant appartenir à des philosophies naturelles d'horizons différents (Boyle, Newton, Réaumur, Boerhaave, Dufay, Nollet etc.) Le dialogue entretenu par le mécanisme avec les expériences et les observations consiste alors à élaborer la structure des « principes » chimiques à l'aide de propriétés expérimentales (Molières, Lozeran du Fesc, Launay, Keranflech); à rendre possible l'attribution de configurations particulières aux corps électriques et magnétiques et des répartitions en densité particulières d'atmosphères impliquées dans les phénomènes lumineux (Béraud, Molières, Mairan); ou bien consiste en des appels à des propositions expérimentales modélisées par les petits tourbillons (Gamaches). Expériences et observations guident alors des cheminements déductifs mais sont aussi ce que le mécanisme doit incorporer dans des principes et des schémas explicatifs préétablis, fondements et méthodes qu'elles ne sauraient révoquer.

Des tourbillons de même force et des flux de tourbillons se faisant selon une même quantité dans un même temps fondent pressions et des accélérations identiques, lesquelles permettent d'établir la loi de chute libre, les règles du choc, le lien entre fréquences des vibrations et déviations lumineuses par l'usage d'une loi des cordes vibrantes (Molières, Launay, Mazière, J. (II) Bernoulli). Les lois de réfractions et de réflexions s'appuient sur la méthode des ondes de Huygens (Molières, Launay) : il s'agit de fournir à un développement purement géométrique un support mécanique et de fonder l'élasticité dont Huygens ne donnerait pas la cause mécanique. Si les collisions élastiques sont utilisées pour justifier le comportement des petits tourbillons (Molières, Launay, Keranflech), à proprement parler elles ne constituent pas un modèle mécanique viable et permettant de mathématiser les phénomènes : les règles du choc requièrent les masses des corps et les petits tourbillons n'en possèdent pas. Enfin, la loi expérimentale de frottements utilisée par Gamaches correspond à celle de frottements solides tandis que l'éther composé de petits tourbillons est d'une tout autre nature.

SYSTEME ET « CARTESIANISME MODERNE »

Causes et principes mécaniques

Les petits tourbillons concilieraient les systèmes du « vide » et du « plein » : ils répondraient « distinctement à toutes les difficultés qui semblent maintenant le [le plein] détruire », et ôteraient « les principaux obstacles qui empêchent de voir que la nature n'est précisément qu'un mécanisme perpétuel »¹. Ils compléteraient ce « mécanisme interrompu » qui caractériserait les travaux de Newton qui ne livre pas de causes mécaniques. Ils combleraient ce hiatus existant entre l'œuvre de Descartes et des « Cartésiens », qui n'auraient su qu'insuffisamment les faits et n'auraient appliqué qu'insuffisamment la « géométrie »², et des propositions relevant d'expériences à partir desquelles Newton aurait montré un savoir-faire de « Géometre » mais non de physicien. Molières juge que la physique ne doit pas reposer que sur des « principes d'expériences » aux inductions équivoques et que les « suppositions géométriques » ne sont pour elle que des « pierres d'attentes »³ : expériences et propositions mathématiques devraient être intégrées dans des chaînes déductives impliquant des causes mécaniques. Le rôle du physicien ne consisterait pas alors seulement à décrire des phénomènes mais aussi à les relier à ces causes qui les

1 Molières [1734], *Remarques générales*, p. xj et p. xij.

2 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 75-76 et p. 104.

3 Molières [1736], Leçon VII, Proposition III, p. 152

produisent¹. Le nouveau système se construit alors contre Descartes et les « Cartésiens », et contre Newton et les « Newtoniens » : tout en s'appuyant sur les premiers, il en repense les principes et les méthodes, tout en s'appuyant sur les deuxièmes, il fonde mécaniquement l'optique newtonienne, la gravitation, et les phénomènes physico-chimiques interprétés à l'aide d'actions à distance.

Concernant ces causes, « nous ne dev[ons] regarder en Phisique, comme un effet connu, que celui que nous pouvons déduire clairement & distinctement de l'étenduë, de l'impénétrabilité & de la divisibilité de la matiere réduite en acte par la force mouvante, qui se distribuë dans ses parties par l'impulsion » ; l'univers est formé d'un « même Espace homogene » nommé « *Matiere* », espace « *Impénétrable* ou capable d'impulsion », « *Divisible* » en parties dénommées « *Corps* » lesquels sont « *figurez* de diverse façon »². Si les explications mécaniques peuvent s'avérer complexes, les causes demeurent simples, générales, en nombre limité et fondent une unité explicative appliquée dans l'ordre du visible et de l'invisible. Un mécanisme peut résulter de différentes « combinaisons » de chaînes déductives rendant compte d'expériences, et sa perfectibilité repose sur celle de ces cheminements déductifs. Les principes, les expériences et la cohérence de l'ensemble explicatif assureraient la réalité de « *L'hypothèse des petits tourbillons* », pour reprendre un titre de Keranflech, hypothèse amendable dans ses déductions.

Malebranche et Huygens prennent pour « principe » la « base » du système cartésien (« la matiere n'est capable que de figures & de mouvemens ; de sorte que tout ce qui s'opere en elle n'est qu'une suite des loix du choc ») tout en le perfectionnant « dans ses conséquences » par « un grand nombre d'expériences dont Descartes a reconnu la nécessité : mais qu'il n'a pas pû exécuter, parce que c'étoit l'ouvrage du tems »³. Molières note que « c'est là enfin le seul & unique système dont l'Académie [royale des sciences de Paris] a fait le plus d'usage, & qui doit nous guider dans les conséquences que nous tirons de nos Observations, & sans le secours duquel nous cesserions bien-tôt de faire des Expériences utiles au progrès de la Phisique »⁴. Molières s'en prend aux savants qui ne font reposer la physique que sur des expériences : « le fait est constant que plus ils font d'effort pour ne s'en tenir qu'à la seule expérience, plus ils multiplient les suppositions, & qu'ils introduisent autant de systèmes particuliers, qui souvent se contredisent, qu'ils considerent d'effets differens. De sorte que pour se soustraire à un ordre général qui les gêne [à savoir un système], ils tombent sans y penser dans l'anarchie & dans la confusion ; ce qui détruit la Phisique, & leur ravit le fruit de leurs travaux : ou cette fécondité que la connoissance de l'ordre, de l'union, & de la subordination des causes peut seule produire ». Sans un « principe général » auquel rapporter les expériences, « on sera toujours la dupe de l'imagination qui ne manque jamais d'ajouter subtilement & sans qu'on s'en aperçoive, quelque chose du sien à ce que l'expérience prise avec précaution nous dit de l'effet que nous considerons »⁵. Le système, en amont, « guide » et « ordonne » les expériences autour d'une même cause, la seule accumulation de celles-ci ne constituant pas un savoir physique. Mais raison et expériences n'améliorent pas seulement les « conséquences » et les chaînes déductives, le système des petits tourbillons témoignant qu'ils interrogent aussi les lois mécaniques que Descartes déduit du mode d'action divin.

1 Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 2.

2 Molières [1734], Leçon I, Proposition II, p. 4-5 et p. 6-7.

3 Molières [1736], Leçon VIII, p. 305-306. Sur la reconnaissance de la nécessité de ces expériences, voir Descartes, *Principes*, Préface, AT IX, p. 17, p. 20 ; *Principes*, IV, AT IX, art. 63 p. 235-236 sur le manque d'expériences pour vérifier des raisonnements concernant les grandeurs et les figures de parties composant les métaux ; *Principes*, IV, AT IX, art. 188, p. 309-310 : « par fautes d'expériences ou de loisir, je n'auray peut estre jamais le moyen de les [la troisième et la quatrième partie des *Principes*] achever ».

4 Molières [1736], Leçon VIII, p. 305-306.

5 Molières [1736], Leçon VI, Proposition I, p. 2-3

Pour Descartes, les « Principes » renvoient à ceux des « choses corporelles ou Physiques », à savoir qu'« il y a des corps estendus en longueur, largeur & profondeur, qui ont diverses figures & se meuvent de diverses façons »¹ ; il écrit aussi que la deuxième partie de ses *Principes* contient l'explication « des premières lois ou des Principes de la Nature », le terme renvoyant alors aux trois lois de la nature². Les corrections apportées aux « principes » de Descartes touchent ce deuxième sens et ont des retombées sur le premier sens en tant que, pour certains savants, la figure des corps ne joue plus qu'un rôle minime, sinon aucun, dans les explications mécaniques. L'ensemble grandeur-figure-mouvement tend à laisser place au couple grandeur-mouvement circulaire, et ce dernier, qui donne alors aux corps une figure sphérique, acquiert un statut au moins égal à celui du mouvement rectiligne chez Descartes : sa permanence et sa « force » sont des principes explicatifs comme l'est la permanence de la trajectoire rectiligne chez Descartes. Le cercle et la répétition de ce motif répondent à des critères méthodologiques de simplicité et d'économie de principes. Les états de repos et de mouvement ne possèdent pas la même valeur ontologique et la première loi de la nature cartésienne, celle-là même qui fonde toute action au sein du système, s'en voit modifiée. Une fois cette réforme acquise, le nouveau système devient pour certains savants, dans ses principes, un horizon indépassable : les déductions peuvent toujours être perfectibles, et des auteurs travaillant avec les petits tourbillons proposent des explications différentes pour des phénomènes identiques, mais ces tourbillons correspondent au stade ultime de simplification et de perfectionnement des causes physiques.

Malgré tout, ces petits tourbillons subissent le sort réservé aux systèmes au XVIII^e siècle comme relevant d'une manière de philosopher conjecturale. Chaque « Cartésien » a son système, les expériences détruisent les systèmes et nécessitent de remettre l'ouvrage sur le métier, le nombre de phénomènes ignorés rend illusoire sinon fausse cette manière de philosopher. Le physicien se doit d'être circonspect et modeste, et simplement de recueillir et d'organiser les faits entre eux (voir l'*Encyclopédie*, Condillac, Sigorgne, Nollet). Cette dénonciation s'accompagne de critiques plus spécifiques relatives à la nature de la matière originelle « molle » de ce nouveau système qui rend impensable la formation de tourbillons, à l'impossible équilibre des tourbillons, à des incohérences entre propositions, à des explications jugées incompatibles avec des expériences. Les détracteurs de ce système peuvent être eux-mêmes des adeptes de la philosophie mécanique ou non (Banières, Nollet, Castel, Ratte, Sigorgne, D'Alembert).

Ancien et nouveau « Cartésianismes »

A l'issue de cette réforme de la physique de Descartes, Keranflech évoque « deux Cartésianismes ; l'ancien & le moderne »³. Le premier repose sur « le système des Tourbillons de Mr. Descartes, avec ses trois matières, subtile, globuleuse, & rameuse », et le deuxième sur la « transformation des trois matières cartésiennes en petits Tourbillons de divers ordres ». Keranflech rapporte que cette opération commença par Malebranche en 1699, se poursuivit par Molières, par Gamaches et par « d'autres célèbres Académiciens [qui] ont adopté cette supposition [des petits tourbillons], & l'ont sçavamment employée, en différens morceaux de Physique ». Cette « idée » correspond à « une extension » du système de Descartes rendue nécessaire car « la raison & l'expérience l'ont désavoué », sans pour autant qu'il s'agisse d'« une nouvelle hypothèse »⁴. Keranflech ne reproche pas à Newton ses

1 Descartes, *Principes, Préface*, AT IX, p. 10. Ce premier sens se retrouve notamment dans *Principes*, II, AT IX, art. 64, p. 101-102 ; III, art. 1, p. 103 ; III, art. 4 p. 105 ; III, art. 47 p. 125-126 ; IV, art. 187, p. 308-309 ; IV, art. 200 p. 318 ; IV, art. 202, p. 320.

2 Descartes, *Principes, Préface*, AT IX, p. 10. Voir aussi *Principes*, II, AT IX, art. 45, p. 89.

3 Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 3.

4 *Ibid.*, p. 3-7

critiques à l'encontre des « explications » de Descartes, mais plutôt l'abandon d'une méthode consistant à n'admettre que « des idées claires, des causes mécaniques, & des explications uniquement déduites des figures, des configurations, & des mouvemens de la matière ». De tels préceptes auraient permis de rectifier et de perfectionner le système de Descartes, sans pour autant lui en substituer un autre comme le fit Newton. Et pour cela, « il eût fallu méditer comme des Molières, ou des Gamaches, ou d'autres illustres Académiciens qui ont eu les mêmes vues. Ces M.M., en suivant les principes d'une géométrie lumineuse, ont analysé les propriétés du tourbillon sphérique, & complété l'Hypothèse des grands Tourbillons, en y joignant celle des petits. C'est ce système complet qui se peut appeler, *le Cartésianisme moderne* »¹.

Sont alors dénoncés les « chimistes Cartésiens »², les « cartésiens rigides »³, les « cartésiens zelés »⁴, les « anciens Cartésiens »⁵. Bertier ne nomme pas les « défenseurs du plein Cartésien » mais « *Ethériens* » ou « *Impulsionnaires* », et fait cette distinction en notant que certains ont rejeté « la triple division des parties élémentaires du fluide qui emporte les planètes, & remplit les espaces interplanétaires » en « molécules solides appelées [...] *subtiles*, [...] *globuleuses*, [...] *striées* »⁶. Molières évoque « l'idée imparfaite que Descartes nous a donné du Mécanisme de la Nature », tout en ajoutant que la réforme ne consiste qu'en « une simple extension » des tourbillons cartésiens⁷. Il s'agit alors de ne pas s'attacher « si scrupuleusement » aux tourbillons de Descartes, mais à « en approfondir l'idée & la développer de plus en plus »⁸, ou encore de ne pas suivre « servilement » Descartes qui ne pouvait pas tout « prévoir »⁹. Malgré tout, « ses [Descartes] vuës générales sont si solides »¹⁰ qu'« en approfondissant ses principes », « le système de Descartes rectifié » satisfait à « toutes les Objections qui sembloient l'avoir accablé »¹¹. Launay estime que ce n'est pas parce que lui-même et d'autres changent le système de Descartes, et en particulier rejettent « la force positive du repos », qu'il faut prétendre à l'aune du « nouveau système » élaboré que « nous ne sommes pas Cartésiens »¹². Ces « Cartésiens d'aujourd'hui » recourent au « tourbillon composé » et se distinguent d'autres « Cartésiens » qui, comme par exemple J. (I) Bernoulli, utilisent le « tourbillon simple »¹³. Molières est un « partisan zélé du système Cartésien » dans le sens où il fonde sa physique sur le plein et des tourbillons¹⁴. Gamaches écrit que « ceux que j'appelle Cartésiens, ce ne sont pas les gens servilement attachés à tous les sentimens de M. Descartes ; ce sont les Philosophes qui reconnoissent que la matiere n'est capable que de figures, & de changemens de rapports de distance »¹⁵.

Molières approuve cette dernière définition et précise que s'il ne suit Descartes « dans aucune de ses explications » il le considère pourtant comme « le père de la vraie Physique »¹⁶. Il souligne que ceux qui abandonnent ses explications tels que Boyle, Malebranche, Huygens, Mariotte « n'ont pas néanmoins cessé de se dire Cartésiens ».

1 *Ibid.*, p. 50-51.

2 Molières [1736], Leçon IX, Proposition VIII, p. 413-419.

3 Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 43 à propos de ceux qui soutiennent la conservation de la quantité de mouvement comme l'entend Descartes.

4 Molières [1734], Leçon V, Proposition I, p. 322.

5 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. xij

6 Bertier, *Physique du Ciel*, t. I, p. 5-6. Bertier ne mentionne pas les savants qu'il regroupe sous ces appellations.

7 Molières [1734], Leçon V, Proposition I, p. 322-324.

8 *Ibid.*, *Remarques générales*, p. x.

9 Molières [1736], Leçon VI, Proposition I, p. 2-3.

10 *Ibid.*, p. 3

11 Molières [1734], *Epître dédicatoire*, non paginé et Molières [1739], Leçon XV, Proposition II, p. 8.

12 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 31.

13 Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 297 et p. 178-179.

14 Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 300.

15 Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 13.

16 Molières, *Quatrième réponse de l'Auteur des Leçons de Physique, à la Lettre de M***. insérée dans les mémoires du mois de Janvier passé*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Mai 1738, Paris, p. 866-867.

Descartes apprend à refuser les opinions sans examen et sur la simple autorité, et préconise d'en faire de même avec son propre système. Puis, Descartes n'a donné qu'une « ébauche de la Physique » fautes d'expériences bien que, ajoute Molières, s'il n'a vu la physique que de loin « il l'a vûë très-réellement ». Descartes enseigne que ce que des philosophes prennent pour des qualités inhérentes à la matière – saveurs, chaud etc. – s'explique par « la figure & le mouvement » ; il apprend à « distinguer ce qui appartient à l'âme de ce qui appartient aux objets des sens », ne confondant pas « l'action » de ces objets avec son « résultat », à savoir une « modification de l'âme », et détrompe ainsi des erreurs des sens. Enfin, il enseigne « les regles qu'il faut suivre pour faire bon usage de son imagination dans la recherche de la vérité »¹. Ainsi, selon Mairan, il existe un « esprit du Cartésianisme » :

le Mécanisme, comme cause immédiate de tous les phénomènes de la Nature, est devenu dans ces derniers temps le signe distinctif des Cartésiens ; car à quoi les reconnoît-on sans cela, lorsqu'ils font profession de recevoir toutes les découvertes des Modernes, & principalement de Newton ? C'est donc là l'esprit du Cartésianisme, les explications particulières que nous a laissé Descartes, n'en sont, pour ainsi dire, que le marc².

Les « Cartésiens » se caractériseraient alors par l'usage du mécanisme qui se fonde sur la matière comme substance étendue et sur le mouvement, sur le plein et sur l'impulsion. Outre ces éléments, cet « esprit » serait aussi marqué par l'usage d'une méthode, le refus d'une parole d'autorité et des règles, par la conscience aussi que, comme pourrait le dire Descartes selon Mairan, « mon Principe [le mécanisme] ouvroit une carrière sans bornes, & dans laquelle ceux qui commenceroient leur course où j'ai fini la mienne, iroient plus loin que moi »³, ce dernier point n'étant pas sans rapport avec le caractère perfectible d'un système. Mais la définition donnée par Mairan est suffisamment générale pour englober un ensemble de savants aux pratiques distinctes, d'où ces expressions de « Cartésiens » dits « rigides », « zélés », ou encore cette opposition entre les « anciens Cartésiens » et les « Cartésiens d'aujourd'hui », voire finalement cette mention des « *Impulsionnaires* » plutôt que des « Cartésiens » : des dissensions provenant notamment de l'attribution ou non d'une force pour les corps au repos, et de différentes conceptions de l'éther. Enfin, l'« esprit systématique », pour reprendre la formule de Mairan dans la *Préface* de sa *Dissertation sur la glace* (1749), semble aussi une ligne de partage au sein des philosophes mécaniciens : si Nollet s'appuie sur des fluides subtils, s'il loue cette méthode explicative des phénomènes due à Descartes, il appelle aussi le physicien à la retenue, il dénonce les abus de l'« imagination » et, en particulier, les « systèmes hazardés » parmi lesquels celui des petits tourbillons.

Ces différents exemples montrent ainsi que des savants, tout en se réclamant du « Cartésianisme », s'écartent de Descartes mais se démarquent aussi d'autres « Cartésiens ». De telles revendications ne sauraient être seulement réduites à des effets rhétoriques : elles témoignent de l'importance de la réforme entreprise par Malebranche et de ses prolongements, et elles illustrent les évolutions de théories physiques et la multiplicité des formes du mécanisme. Que le mot « Cartésien » revête ainsi plusieurs sens invite à prendre avec précaution cette catégorie historiographique évoquée dans l'introduction de cet ouvrage, l'usage de ce terme pouvant tomber dans l'écueil de rassembler des pratiques scientifiques distinctes et de masquer les causes de telles différences.

Cette étude a avant tout cherché à caractériser ce « Cartésianisme moderne », pour reprendre l'expression de Keranflech, en énonçant les principes, les lois et les méthodes, en donnant ses raisons d'être, tout en ayant conscience qu'il ne fonde pas lui-même une unité au regard de la diversité des explications physico-chimiques proposées à l'aide des petits

1 *Ibid.*, p. 867-872 et p. 877.

2 Mairan, *Eloge de M. l'abbé de Molières*, p. 200.

3 *Ibid.*, p. 201.

tourbillons. Elle suggère aussi la complexité voire les limites de la catégorie « cartésien ». Elle est une modeste contribution à l'histoire de la philosophie mécanique au XVIII^e siècle, histoire qui reste à écrire, en montrant que Malebranche est à l'origine d'un de ses courants.

BIBLIOGRAPHIE

Sources primaires

- AMONTONS, Guillaume, *De la résistance causée dans les Machines, tant par les frottemens des parties qui les composent, que par la roideur des cordes qu'on y employe, & la manière de calculer l'un & l'autre*, MARS 1699 (1732), p. 206-222.
- ARISTOTE, *Métaphysique*, éd. J. Tricot, Paris, Vrin, 1981.
- Astronomie physique*, dans *Journal des Sçavans*, Chaubert, Paris, 1740 (septembre 1740), p. 1576-1626.
- BANIERES, Jean, *Traité Physique sur la Lumière & les Couleurs, du Son & des Différens Tons*, 2 t., Paris, Veuve Mazières, J. B. Garnier, 1737.
- BERAUD, Laurent, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids, que certaines matieres acquierent dans leur Calcination*, Bordeaux, P. Brun, 1747.
- BERAUD, Laurent, *Dissertation sur le rapport qui se trouve entre la cause des effets de l'Aiman, & celle des Phenomènes de l'Electricité*, Bordeaux, Pierre Brun, 1748.
- BERAUD, Laurent, *Theoria Electricitatis*, dans *Dissertationes selectae Jo. Alberti Euleri, Paulli Frisii, et Laurentii Beraud, quae ad Imperialem Scientiarum Petropolitanam Academiam An. 1755. missæ sunt, cum Electricitatis caussa, & theoria, præmio proposito, quæreretur*, Petropoli & Lucae, Vincentium Junctinium, 1757.
- BERNOULLI, Jean (I), *Disquisitio Catoptrico-Dioptrica exhibens Reflexionis & Retractionis naturam, nova & genuina ratione ex æquilibrii fundamento deductam & stabilitam*, *Acta Eruditorum*, jan. 1701, Lipsiæ, J. Grossii, J. T. Fristschium, p. 19-26.
- BERNOULLI, Jean (I), *Meditationes de chordis vibrantibus, cum pondusculis æquali intervallo a se invicem difsitis*, *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitaneæ*, t. III, année 1728, Petropoli, Typis Academiae, 1732, p. 13-28
- BERNOULLI, Jean (I), *Nouvelles pensées sur le Systême de Descartes, & sur la manière d'en déduire les Orbites & les Aphelies des Planetes*, dans *Recueil des pieces qui ont remporté le Prix de l'Academie royale des sciences [...] Tome second. Qui contient les Pieces depuis 1727 jusqu'en 1732*, Paris, C. Jombert, 1732.
- BERNOULLI, Jean (II), *Recherches Physiques et Geométriques sur la Question : Comment se fait la Propagation de la Lumiere*, dans *Recueil des pieces qui ont remporté le prix de l'Academie royale des sciences [...] Tome troisieme. Qui contient les Pieces depuis 1732 jusqu'en 1737*, Paris, Lambert, 1738.
- BERTIER, Joseph-Etienne, *Physique du Ciel, où l'on confronte sans partialité le Vuide avec l'Ether, l'Attraction avec l'Impulsion. Et où sont contenus les Principes de toute la Physique généralement*, 3 vol., Paris, Imprimerie Royale, 1763.
- BILFINGER, Georg Bernhard, *De Directione Corporum Gravium in Vortice Sphærico, et figura nuclei, Dissertatio experimentalis, Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitaneæ*, t. I (année 1726), Petropoli, Typis Academiae, 1728, p. 245-261.
- BILFINGER, Georg Bernhard, *De causa gravitatis physica generali disquisitio experimentalis*, dans *Recueil des pieces qui ont remporté le Prix de l'Academie royale des sciences [...] Tome second. Qui contient les Pieces depuis 1727 jusqu'en 1732*, Paris, C. Jombert, 1732.
- BOERHAAVE, Hermann, *Elementa Chemiæ*, 2 t., Lugduni Batavorum, Isaacum Severinum, 1732.
- BOERHAAVE, Hermann, *Elémens de Chymie*, 2 t., Amsterdam, Leipzig, Arkstee et Merkus, 1752.
- BOUILLET, Jean, *Dissertation sur la cause de la multiplication des fermens*, Bordeaux, R. Brun, 1719.
- BOUILLET, Jean, *Dissertation sur la cause de la Pesanteur*, Bordeaux, R. Brun, 1720.
- BOYLE, Robert, *New Experiments Physico-Mechanical, touching the Spring of the Air, and its Effects*, Oxford, H. Hall, 1660.
- BOYLE, Robert, *The works of Robert Boyle*, éd. Michael Hunter et Edwards B. Davis, London, Pickering & Chatto, 14 vol., 1999-2000.
- BOYLE, Robert, *The correspondence of Robert Boyle*, éd. Michael Hunter, Antonio Clericuzio et Lawrence M. Principe, London, Pickering & Chatto, 2001.

- CASSINI, Jean Dominique, *De l'origine et du progrès de l'astronomie, et de son usage dans la géographie et dans la navigation*, MARS 1666-1699 (1730), t. VIII, p. 1-52.
- CHAMBERS, Ephraïm, *Cyclopædia : or, an Universal Dictionary of Arts and Sciences*, London, W. Innys, 2 t., 1741-1743.
- CLERSELIER, Claude, *Lettres de M^r Descartes*, 3 t., Paris, Charles Angot, 1657-1667.
- CONDILLAC, Etienne Bonnot de, *Traité des sitêmes, où l'on en démêle les inconvéniens & les avantages*, Paris, Neaulme, 1749.
- CORDEMOY, Géraud de, *Six Discours sur la distinction et l'union du corps et de l'âme, Œuvres philosophiques de Cordemoy*, éd. P. Clair et F. Girbal, Paris, PUF, 1968.
- COTES, Roger, *Leçons de Physique Expérimentale, sur l'Equilibre des Liqueurs, & sur la Nature & les propriétés de l'Air*, (trad. Le Monnier), Paris, David fils, 1742.
- CROUSAZ, Jean-Pierre de, *Systeme de reflexions qui peuvent contribuer à la Netteté & l'Etendue de nos Connoissances : ou nouvel essai de logique*, 2 t., Amsterdam, François L'Honoré, 1712.
- CROUSAZ, Jean-Pierre de, *Discours sur le principe, la nature, et la communication du mouvement, dans Recueil des pieces qui ont remporté le Prix de l'Academie royale des sciences [...] Tome premier. Qui contient les Pieces depuis 1720 jusqu'en 1727*, Paris, C. Jombert, 1732.
- CROUSAZ, Jean-Pierre de, *Essay sur le mouvement, ou l'on traite de sa Nature, de son Origine, de sa Communication en general ; & en particulier des Chocs des Corps qu'on suppose parfaitement Solides & des effets qui doivent résulter de leurs différentes situations, & à cette occasion on examine encor la Question du Plein, & du Vuide & la Nature de la Reaction*, Groningue, Jean Coste, 1726.
- CROUSAZ, Jean-Pierre de, *Dissertation sur la nature, l'action, et la propagation du feu*, Bordeaux, Pierre Brun, 1729.
- CROUSAZ, Jean-Pierre de, *De l'esprit humain, substance différente du corps, active, libre, immortelle. Vérités que la raison démontre ; et que la révélation met au-dessus du tout doute*, Basle, J. Christ, 1741.
- D'ALEMBERT, Jean Le Rond, *Traité de dynamique*, David, Paris, 1743 (2^e éd. 1758).
- D'ALEMBERT, Jean Le Rond, *Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides. Pour servir de suite au Traité de Dynamique*, Paris, David l'ainé, 1744 (2^e éd. 1770).
- D'ALEMBERT, Jean Le Rond, *Essai sur les élémens de philosophie*, dans *Mélanges de littérature, d'histoire et de philosophie*, t. IV, Amsterdam, Zacharie Chatelain, 1759.
- D'ALEMBERT, Jean Le Rond, *Eclaircissemens sur différens endroits des éléments de philosophie*, dans *Mélanges de Littérature, d'Histoire et de Philosophie*, t. V, Amsterdam, Z. Chatelain et Fils, 1767.
- D'ALEMBERT, Jean Le Rond, *Correspondance générale 1741-1572*, éd. I. Passeron, *Œuvres complètes*, Série V, Vol. 2, Paris, CNRS Editions, 2015.
- DECHALES, Claude François Milliet, *Cursus seu Mundus mathematicus*, Lyon, J. Posuel et C. Rigaud, 1690 (1^{re} éd. en 1674).
- DES MAIZEAUX, Pierre, *Recueil de diverses Pieces, sur la Philosophie, la Religion Naturelle, l'Histoire, les Mathematiques, &c. Par Mrs. Leibniz, Clarke, Newton, & autres Auteurs célèbres*, 2 t., Amsterdam, Duvillard et Changuion, 1720.
- Démonstration Physico-Mathématique de la vérité des grands Tourbillons, & de la fausseté des petits Tourbillons de Malebranche, contre l'hypothese du Vuide & de l'attraction*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Juin 1739, Paris, 1739, p. 1242-1269.
- DESAGULIERS, John Theophilus, *Cours de Physique Expérimentale*, 2 t., éd. E. Pezenas, Paris, J. Rollin et C. A. Jombert, 1751.
- DESCARTES, René, *Œuvres de Descartes*, éd. Charles Adam et Paul Tannery, 11 vol., Paris, Vrin, 1996.
- DESCARTES, René, *Le Monde de René Descartes, ou traité de la lumiere*, éd. C. Clerselier, Paris, Théodore Girard, 1677.
- Dictionnaire Universel François et Latin*, 5 t., Trévoux, Delaulme etc., 1721.
- Dictionnaire Universel François et Latin*, 8 t., Paris, Compagnie des Libraires associés, 1771.
- DU CHATELET, Emilie Gabrielle Le Tonnelier marquise, *Institutions de physique*, Paris, Prault, 1740.
- DU CHATELET, Emilie Gabrielle Le Tonnelier marquise, *Institutions physiques*, Amsterdam, Aux dépens de la compagnie, 1742.

- DU CHATELET, Emilie Gabrielle Le Tonnelier marquise, *Dissertation sur la nature & la propagation du feu*, dans *Recueil des pieces qui ont remporté le prix de l'Academie royale des sciences [...] Tome quatrième. Contenant les Pieces depuis 1738 jusqu'en 1741*, Paris, G. Martin, J. B. Coignard, H.-L. Guerin, C.-A. Jombert, 1752.
- DUFAY, François de Cisternay, *Observations sur quelques Expériences de l'Aimant*, MARS 1728 (1730), p. 355-369.
- DUFAY, François de Cisternay, *Suite des Observations sur l'Aimant*, MARS 1730 (1732), p. 142-157.
- DUFAY, François de Cisternay, *Troisième Mémoire sur l'Aimant*, MARS 1731 (1733), p. 417-432.
- DUFAY, François de Cisternay, *Premier Mémoire sur l'Electricité. Histoire de l'Electricité*, MARS 1733 (1735), p. 23-35.
- DUFAY, François de Cisternay, *Second Mémoire sur l'Electricité*, MARS 1733 (1735), p. 73-84.
- DUFAY, François de Cisternay, *Troisième Mémoire sur l'Electricité*, MARS 1733 (1735), p. 233-254.
- DUFAY, François de Cisternay, *Quatrième Mémoire sur l'Electricité. De l'Attraction & Répulsion des Corps Electriques*, MARS 1733 (1735), p. 457-476.
- DUFAY, François de Cisternay, *Cinquième Mémoire sur l'Electricité*, MARS 1734 (1736), p. 341-361.
- DUFAY, François de Cisternay, *Sixième Mémoire sur l'Electricité*, MARS 1734 (1736), p. 503-526.
- Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers, par une Société de Gens de Lettres*, éd. Denis Diderot et Jean Le Rond D'Alembert, Briasson, David, Le Breton, Durand, Paris, puis Faulche et compagnie, Neufchastel, 28 t., 1751-1772.
- DU HAMEL, Jean-Baptiste, *Regiæ Scientiarum Academiæ Historia*, Paris, Jean-Baptiste Delespine, 1701 (2^e éd.).
- FONTENELLE, Bernard Le Bovier de, *Sur les Frottemens des Machines*, HARS 1699 (1732), p. 104-109.
- FONTENELLE, *Physique generale sur une nouvelle propriété de l'air, & une nouvelle construction de Thermomètre*, HARS 1702 (1743), p. 1-8.
- FONTENELLE, Bernard Le Bovier de, *Sur les vitesses des corps mus suivant des courbes*, HARS 1704 (1745), p. 104-116.
- FONTENELLE, Bernard Le Bovier de, *Sur la vitrification de l'Or*, HARS 1707 (1709), p. 30-31.
- FONTENELLE, Bernard Le Bovier de, *Sur les forces centrales des planetes*, MARS 1707 (1709), p. 97-103.
- FONTENELLE, Bernard Le Bovier de, *De la Résistance des Milieux au Mouvement*, HARS 1711 (1730), p. 87-93.
- FONTENELLE, Bernard Le Bovier de, *Eloge de M. Sauveur*, HARS 1716 (1718), p. 79-87.
- FONTENELLE, Bernard Le Bovier de, *Eloge de M. Parent*, HARS 1716 (1718), p. 88-93.
- FONTENELLE, Bernard Le Bovier de, *Sur les Tourbillons Célestes*, HARS 1729 (1731), p. 87-91.
- FONTENELLE, Bernard Le Bovier de, *Eloge de M. Geoffroy*, HARS 1731 (1733), p. 93-100.
- FONTENELLE, Bernard Le Bovier de, *Sur l'Electricité*, HARS 1733 (1735), p. 4-13.
- FONTENELLE, Bernard Le Bovier de, *Sur l'aiman*, HARS 1733 (1735), p. 13-17.
- FONTENELLE, Bernard Le Bovier de, *Sur la réflexion, la réfraction, & la diffraction de la lumière*, HARS 1738 (1740), p. 82-97.
- FONTENELLE, Bernard Le Bovier de, *De la diffraction ou inflexion des rayons*, HARS 1740 (1742), p. 84-89.
- FORGE, Louis de La, *Traité de l'esprit de l'homme*, dans *Œuvres philosophiques de La Forge*, éd. Pierre Clair, Paris, PUF, 1974.
- FREIND, John, *Prælectiones Chemicæ*, Londres, J. Bowyer, 1709.
- FURETIERE, Antoine, *Dictionnaire Universel*, 3 t., La Haye, Rotterdam, A. et R. Leers, 1690.
- GALILEO Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze*, Leida, Elsevirii, 1638.
- GAMACHES, Etienne-Simon de, *Astronomie Physique ou Principes Généraux de la Nature appliqués au Mécanisme Astronomique & comparés aux Principes de la Philosophie de M. Newton*, Paris, C.-A. Jombert, 1740.
- GEOFFROY, Claude Joseph, *Nouvelles Expériences sur le Borax, avec un moyen facile de faire le Sel Sédatif, & d'avoir un Sel de Glauber, par la même opération*, MARS 1732 (1735), p. 398-418.
- GEOFFROY, Etienne François, *Expériences sur les Metaux, faites avec le Verre ardent du Palais Royal*, MARS 1709 (1733), p. 162-176.

- GEOFFROY, Etienne François, *Table des differents rapport observés en Chimie entre différentes substances*, MARS 1718 (1720), p. 202-212.
- GOULD, William, *Experimenta circa incrementum ponderis in oleo Vitrioli æri exposito, una cum inventis quibusdani novis Hygroscopicis*, *Acta Eruditorum*, Anno MDCLXXXV, Leipzig, J. Grossium & J. F. Gletitschium, 1685, p. 315-317.
- 'S GRAVESANDE, Willem Jacob, *Physices elementa mathematica, experimentis confirmata, sive introductio ad philosophiam Newtonianam*, 2 t., Lugdunum Batavorum, P. Vander Aa & Balduinum J. Vander Aa, 1720.
- 'S GRAVESANDE, Willem Jacob, *Elemens de physique demontrez mathematiquement, et confirmez par des experiences ; ou introduction a la philosophie newtonienne* (trad. de la 3^e éd. de 1742), 2 t., Leide, J. A. Langerak et J. et H. Verbeek, 1746.
- HALES, Stephen, *La statique des végétaux et l'analyse de l'air. Expériences nouvelles lûes à la Société Royale de Londres*, Paris, Debure l'aîné, 1735.
- HARTSOEKER, Nicolas, *Conjectures Physiques*, Amsterdam, Henri Desbordes, 1706.
- HAUKSBEE, Francis, *Physico-Mechanical Experiments on Various Subjects*, Londres, J. Senex, 1719 (2^e éd.).
- Histoire de l'Académie royale des sciences. Avec les Mémoires de Mathématiques & de Physique pour la même Année. Tirés des Registres de cette Académie*. Paris, Imprimerie royale, 1702-1797.
- HOMBERG, Wilhelm, *Essais de chymie*, MARS 1702 (1743), p. 33-52.
- HOMBERG, Wilhelm, *Suite des essais de chimie. Article troisième. Du Souphre principe*. MARS 1705 (1730), p. 88-96.
- HOMBERG, Wilhelm, *Memoire touchant les Acides & les Alkalis, pour servir d'addition à l'article du Sel principe, imprimé dans nos Memoires de l'année 1702. pag. 36.*, MARS 1708 (1730), p. 312-323.
- HUYGENS, Christian, *Traité de la lumiere. Où sont expliquées les causes de ce qui luy arrive dans la reflexion & dans la refraction. Et particulierement dans l'etrange refraction du Crystal d'Islande. Avec un Discours de la Cause de la pesanteur*, Leide, P. Vander Aa, 1690.
- JALLABERT, Jean, *Experiences sur l'Electricité, avec quelques conjectures sur la cause de ses effets*, Genève, Barrillot & Fils, 1748.
- JANTET, *Leçons élémentaires de Méchanique*, Dôle, Joly et Bardou, 1785.
- Journal des Sçavans* (1665-1792).
- JURIN, James, *An Account of some Experiments shown before the Royal Society ; with an enquiry into the cause of the Ascent and Suspension of Water in Capillary Tubes*, dans *Philosophical Transactions*, vol. XXX, 1717, 1718, 1719, Londres, W. and J. Innys, 1720, Jan. - April 1718, n° 355, p. 739-747.
- JURIN, James, *An Account of some new Experiments, relating to the Action of Glass Tubes upon Water and Quicksilver*, dans *Philosophical Transactions*, vol. XXX, For the Years 1717, 1718, 1719, Londres, W. and J. Innys, 1720, Novem-Decemb. 1719, n° 363, p. 1083-1096.
- KEILL, John, *Joannis Keil...In qua Leges Attractionis aliaque Physices Principia Traduntur*, *Philosophical Transactions*, vol. XXVI, 1708-1709, London, H. Clements, 1710, May-June 1708, n° 315, p. 97-110.
- KEILL, John, *An Introduction to Natural Philosophy: or, Philosophical Lectures Read in the University of Oxford, Anno Dom. 1700. To which are Added, the Demonstrations of Monsieur Huygens's Theorems, concerning the Centrifugal Force and Circular Motion*, Londres, William et John Innys, John Osborn, 1720.
- KEPLER, Johannes, *Abrégé d'astronomie copernicienne*, trad. Jean Peyroux, Paris, A. Blanchard, 1998.
- KEPLER, Johannes, *Opera omnia*, éd. Christianus Frisch, 8 vol., Francfort, Erlangen, Heyder et Zimmer, 1858-1870.
- KERANFLECH, Charles-Hercule de, *L'hypothèse des petits tourbillons, justifiées par ses usages*, Rennes, Julien & Julien-Charles Vatar, 1761.
- KERANFLECH, Charles-Hercule de, *Observations sur le Cartésianisme moderne, pour servir d'éclaircissement au livre de l'Hypothèse des petits tourbillons*, Rennes, J.-C. Vatar, 1774.
- LAMY, François, *Lettres philosophiques sur divers sujets importants*, Trévoux, Imprimerie de S. A. S, 1703.

- LAUNAY, Jean-Baptiste Le Corgne de, *Réponse aux Principales Objections contenues dans l'Examen des Leçons de Physique de M. L'Abbé de Molières. En forme de Lettres à M. Sigorgne*, Paris, J. Clousier, 1741.
- LAUNAY, Jean-Baptiste Le Corgne de, *Principes du Système des petits Tourbillons, mis à la portée de tout le monde & appliqués aux phénomènes les plus généraux*, Paris, C. A. Jombert, 1743.
- LE CLERC, Jean, *Physica sive de rebus corporeis, Libri quinque*, Londres, A. Swall & T. Childe, 1696. *Le Dictionnaire de l'Académie Française*, 2 t., Veuve J.-B. Coignard, Paris, 1694.
- LE SEUR, Thomas, JACQUIER, François *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica. Auctore Isaaco Newtono. Perpetuis Commentariis illustrata*, 3 t., Genève, Barrillot & Fili, 1739-1742.
- LE FEBVRE, *Eloge historique du père Béraud*, Lyon, Aimé de la Roche, 1780.
- LEIBNIZ, Gottfried-Wilhelm, « Extrait d'une Lettre de Mr. de Leibniz, sur la question, si l'essence des corps consiste dans l'étendue », *Journal des Sçavans*, Paris, Jean Cusson, 1691, 18 juin 1691, p. 259-262.
- LEIBNIZ, Gottfried-Wilhelm, *Die philosophischen Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz*, 7 vol., éd. Carl. J. Gerhardt, vol. IV, Berlin, Weidmannsche Buchhandlung, 1875-1899.
- LEIBNIZ, Gottfried-Wilhelm, *Opuscles philosophiques choisis*, éd. Paul Schrecker, Paris, Vrin, 1966.
- LEIBNIZ, Gottfried-Wilhelm, *Théorie du mouvement abstrait ou raisons universelles des mouvements indépendantes de la sensation des phénomènes*, éd. R. Violette, *Lettres et opuscles de physique et de métaphysique du jeune Leibniz (1663-1671)*, Nantes, Sciences et Techniques en Perspective, vol. 6, 1984-1985.
- LEIBNIZ, Gottfried-Wilhelm, *Sämtliche Schriften und Briefe*, hrsg. v. d. Akademie der Wissenschaften der DDR, série VI, tome II, Berlin, Akademie-Verlag, 1990.
- LEMERY, Nicolas, *Cours de Chymie*, Paris, 1675.
- LEMERY, Nicolas, *Conjectures et reflexions. Sur la matiere du Feu ou de la Lumiere*, MARS 1709 (1733), p. 400-418.
- LEMERY, Nicolas, *Cours de Chymie*, Leyde, T. Haak, 1716 (11^e éd.).
- LEMERY, Louis, *Mémoire sur les Précipitations Chimiques, où l'on examine par occasion la dissolution de l'Or & de l'Argent, la nature particulière des esprits acides, & la manière dont l'esprit de Nitre agit sur celui de Sel dans la formation de l'Eau regale ordinaire*, MARS 1711 (1730), p. 56-78.
- LEMERY, Louis, *Explication mécanique de quelques differences asses curieuses qui resultent de la dissolution de differents Sels dans l'eau commune*, MARS 1716 (1718), p. 154-172.
- Lettre écrite de Montpellier, à l'Auteur des Leçons de Physique*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Janvier 1738, Paris, p. 132-141.
- Les vertus médicinales de l'eau commune, ou recueil des meilleures pieces qui ont été écrites sur cette matiere ; auxquelles on a joint la Dissertation de M^r. de Mairan sur la Glace*, 2 t., Paris, G. Cavelier, 1730.
- LOZERAN DU FESC, Louis Antoine, *Dissertation sur la cause et la nature du tonnerre et des éclairs*, Bordeaux, R. Brun, 1726.
- LOZERAN DU FESC, Louis Antoine, *Dissertation sur la nature de l'air*, Bordeaux, P. Brun, 1733.
- LOZERAN DU FESC, Louis Antoine, *Dissertation sur la dureté, la molesse et la fluidité des corps*, Bordeaux, P. Brun, 1735.
- LOZERAN DE FESC, Louis Antoine, *Discours sur la propagation du Feu*, dans *Recueil des pieces qui ont remporté le prix de l'Academie Royale des Sciences [...] Tome quatrième. Contenant les Pieces depuis 1738 jusqu'en 1741*, Paris, G. Martin, J. B. Coignard, H.-L. Guerin, C.-A. Jombert, 1752.
- MAIRAN, Jean Jacques Dortous de, *Dissertation sur la Glace ou explication physique de la formation de la Glace, & de ses divers Phénomènes, qui a remporté le prix à l'Academie Royale des belles Lettres, Sciences & Arts de Bordeaux, pour 1716*, Bordeaux, R. Brun, 1716 (2^e éd. 1717).
- MAIRAN, Jean Jacques Dortous de, *Dissertation sur la cause de la Lumière, des Phosphores & des Noctiluques*, Bordeaux, R. Brun, 1717.
- MAIRAN, Jean Jacques Dortous de, *Recherches physico-mathematiques sur la reflexion des corps*, MARS 1722 (1724), p. 6-51.
- MAIRAN, Jean Jacques Dortous de, *Suite des recherches physico-mathématiques sur la réflexion des corps*, MARS 1723 (1753), p. 343-386.

- MAIRAN, Jean Jacques Dortous de, *Dissertation sur l'estimation & la mesure des forces motrices des corps*, MARS 1728 (1730), p. 1-49.
- MAIRAN, Jean Jacques Dortous de, *Traité Physique et Historique de l'Aurore Boréale. Suite des Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, année 1731, Paris, Imprimerie Royale, 1733.
- MAIRAN, Jean Jacques Dortous de, *Troisième partie des recherches physico-mathématiques sur la réflexion des corps*, MARS 1738 (1740), p. 1-65.
- MAIRAN, Jean Jacques Dortous de, *Sur les tourbillons cartésiens*, HARS 1741 (1744), p. 1-10.
- MAIRAN, Jean Jacques Dortous de, *Sur la figure de la Terre*, HARS 1742 (1745), p. 86-104.
- MAIRAN, Jean Jacques Dortous de, *Eloge de M. l'abbé de Molières*, HARS 1742 (1745), p. 195-205.
- MAIRAN, Jean Jacques Dortous de, *Dissertation sur la Glace ou explication physique de la formation de la Glace, & de ses divers phénomènes*, Paris, Imprimerie Royale, 1749 (4^e éd.).
- MALEBRANCHE, Nicolas, *Œuvres complètes*, éd. André Robinet, 20 vol., Paris, Vrin, 1958-1970.
- MALEBRANCHE, Nicolas, *De la recherche de la vérité*, éd. Jean-Christophe Bardout, 3 vol., Paris, Vrin, 2006.
- MALEBRANCHE, Nicolas, *De la recherche de la vérité*, 2 tomes, Paris, A. Pralard, 1674-1675.
- MALEBRANCHE, Nicolas, *Des loix de la communication des mouvemens*, Paris, A. Pralard, 1692.
- MALEBRANCHE, Nicolas, *De la recherche de la vérité*, 4 tomes, Paris, M. David, 1712.
- MARALDI, Giacomo Philippo, *Expériences du Baromètre faites sur diverses Montagnes de la France*, MARS 1703 (1720), p. 229-237.
- MARIOTTE, Edme, *Traité de la percussion ou chocq des corps*, Paris, Estienne Michallet, 1673.
- MARIOTTE, Edme, *Œuvres de Mr. Mariotte*, 2 t., Leyde, P. Vander, 1717.
- MATTY, Matthew, *Essays and observations physical and literary, read before a Society in Edinburgh, and published by them*, Vol. I., dans *Journal Britannique*, Mai et Juin 1754, t. XIX, La Haye, H. Scheurleer, 1754, p. 248-268.
- MAZIERE, Jean-Simon, *Les loix du choc des corps à ressort parfait ou imparfait, déduites d'une explication probable de la cause physique du ressort*, dans *Recueil des pieces qui ont remporté le Prix de l'Académie royale des sciences [...] Tome premier. Qui contient les Pieces depuis 1720 jusqu'en 1727*, Paris, C. Jombert, 1732.
- MAZIERE, Jean-Simon, *Traité des petits Tourbillons de la matiere subtile. Où l'on fait voir par les seuls effets du choc, que l'Univers est rempli d'une matiere très-fluide, très-agitée, & composée d'une infinité de Tourbillons de figure spherique, qui produisent tous les ressorts de la Nature. Pour servir d'introduction à la nouvelle Physique, & d'Eclaircissement à la Piece qui a remporté le Prix de l'Académie Royale des Sciences en 1726*, dans *Recueil des pieces qui ont remporté le Prix de l'Académie royale des sciences [...] Tome premier. Qui contient les Pieces depuis 1720 jusqu'en 1727*, Paris, C. Jombert, 1732.
- MAUPERTUIS, Pierre Louis Moreau de, *Œuvres de Mr. de Maupertuis*, 4 t., Lyon, Bruyset, 1756.
- MAUPERTUIS, Pierre Louis Moreau de, *Examen philosophique de la preuve de l'existence de Dieu employée dans l'Essai de Cosmologie*, dans *Histoire de l'Académie Royale des Sciences et Belles Lettres*, Année 1756, Berlin, Haude et Spener, 1758, p. 389-424.
- Mémoires de l'Académie royale des sciences. Depuis 1666 jusqu'à 1699*, Paris, La Compagnie des libraires, 1729-1734.
- Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts (1701-1767)*, dit *Journal de Trévoux*.
- MOLIERES, Joseph Privat de, *Explication phisique et mécanique du choc des corps à ressort*, MARS 1726 (1728), p. 7-68.
- MOLIERES, Joseph Privat de, *Loix générales du mouvement dans le tourbillon sphérique*, MARS 1728 (1730), p. 245-267.
- MOLIERES, Joseph Privat de, *Probleme physico-mathématique, dont la solution tend à servir de Réponse à une des Objections de M. Newton contre la possibilité des Tourbillons célestes*, MARS 1729 (1731), p. 235-244.
- MOLIERES, Joseph Privat de, *Les Loix Astronomiques des vitesses des Planetes dans leurs Orbes expliquées mécaniquement dans le Système du Plein*, MARS 1733 (1735), p. 301-312.
- MOLIERES, Joseph Privat de, *Leçons de Phisique*, 4 t., Paris, Veuve Brocas, Musier, Billot, 1734-1739 (2^e éd. 1745).

- MOLIERES, Joseph Privat de, *Réponse de M. l'Abbé de Molieres, à la lettre de M***, inserée dans les Mémoires du mois précédent*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Février 1738, Paris, p. 314-326.
- MOLIERES, Joseph Privat de, *Quatrième réponse de l'Auteur des Leçons de Physique, à la Lettre de M***. inserée dans les mémoires du mois de Janvier passé*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Mai 1738, Paris, p. 863-883.
- MOLIERES, Joseph Privat de, *Réponse de l'Auteur des Leçons de Physique à l'Auteur de la Démonstration Physico-Mathématique de la fausseté des petits tourbillons*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Août 1739, Paris, 1739, p. 1679-1687.
- MOLIERES, Joseph Privat de, *Expériences qui démontrent que la force Axifuge d'un Tourbillon spherique se transforme en Force Centrale Centrifuge*, dans *Procès-verbaux de l'Académie royale des sciences*, 1740, t. 59, p. 217v-225r.
- MOLIERES, Joseph Privat de, *Expériences qui prouvent que dans un Tourbillon Sphérique, il y a une force centrifuge centrale, dont la direction est du centre, vers tous les points de la Superficie*, dans *Procès-verbaux de l'Académie royale des sciences*, 1742, t. 61, p. 163-194.
- MORE, Henry, *Of the Laws of Motion*, dans *Essays and Observations Physical and Literary, read before a Society of Edinburgh and published by them*, t. 1, Edinburgh, G. Hamilton et J. Balfour, 1754, p. 1-69.
- MUSSCHENBROEK, Pierre van, *Essai de Physique*, 2 t., Samuel Luchtman, 1739.
- NEWTON, Isaac, *Traité d'optique*, trad. Pierre Coste, Amsterdam, Pierre Humbert, 1720.
- NEWTON, Isaac, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, 2 t., éd. marquise Du Châtelet, Paris, Desaint, Saillant, Lambert, 1759.
- NEWTON, Isaac, *Isaac Newton's papers and letters on natural philosophy and related documents*, éd. I. Bernard Cohen, Cambridge, MA, Harvard University Press, 1958.
- NEWTON, Isaac, *De la gravitation suivi de du mouvement des corps*, éd. François de Gandt et Marie-Françoise Biarnais, Paris, Gallimard, 1995.
- NOLLET, Antoine, *Mémoire de M. l'Abbé Nollet ... dans lequel on examine par voie d'expérience, quelles sont les forces et les directions des parties d'un ou de plusieurs Fluides renfermés dans une même Sphère qu'on fait tourner sur son axe*, dans *Procès-verbaux de l'Académie royale des sciences*, 1741, t. 60, p. 45-52.
- NOLLET, Antoine, *Mémoire dans lequel on examine par voie d'expérience, quelles sont les forces & les directions d'un ou de plusieurs Fluides renfermés dans une même Sphère qu'on fait tourner sur son Axe*, MARS 1741 (1744), p. 184-198.
- NOLLET, Antoine, *Leçons de physique expérimentale*, 6 t., Paris, Frères Guérin, 1743-1764.
- NOLLET, Antoine, *Conjectures sur les causes de l'Electricité des Corps*, MARS 1745 (1749), p. 107-151.
- NOLLET, Antoine, *Essai sur l'Electricité des Corps*, Paris, Frères Guerin, 1746.
- Nouveau cours de chymie, suivant les principes de de Newton & de Sthall*, Paris, Jacques Vincent, 1723.
- Nouveau Dictionnaire de l'Académie Française*, 2 t., Paris, Jean-Baptiste Coignard, 1718.
- NECKER, Louis, *Theses Physicæ de Electricitate, quas, favente Deo, sub præsidio D. D. Joh. Jallabert, Barrillot & Filii, Genevæ*, 1747.
- PARDIES, Ignace-Gaston, *Discours du mouvement local, avec des Remarques sur le Mouvement de la Lumiere*, dans *Œuvres*, Lyon, Les Freres Bruysset, 1725 (1^{re} éd. en 1670).
- PARDIES, Ignace-Gaston *La statique ou la science des forces mouvantes*, dans *Œuvres*, Lyon, Les Freres Bruysset, 1725 (1^{re} éd. en 1674).
- PARENT, Antoine, *Recherches de Mathematiques et de Physique*, 2 t., Paris, Jean Jombert et Florentin Delaulne, 1705.
- PARENT, Antoine, *Essais et recherches de mathematique et de physique. Nouvelle Edition augmentée d'un troisième volume, & d'un tiers au moins en chacun des deux premiers*, 3 t., Paris, J. Nully, 1713.
- Procès-verbaux de l'Académie des sciences et belles-lettres de Lyon, Extrait de mémoires philosophiques ou métaphysiques*, 1714-1739 et 1740-1747 (archives de l'Académie des Sciences Belles-Lettres et Arts de Lyon).

- RATTE, Etienne Hyacinthe de, *Sur la pesanteur dans un milieu composé de petits Tourbillons*, dans *Histoire de la Société Royale des Sciences, établie à Montpellier, avec les Mémoires de Mathématique et de Physique*, t. II, Montpellier, Jean Martel Ainé, 1778, p. 310-317.
- REAUMUR, René Antoine Ferchault de, *Experiences qui montrent avec quelle facilité le Fer & l'Acier s'aimantent, sans même toucher l'Aimant*, MARS 1723 (1725), p. 81-105.
- REGIS, Pierre-Sylvain, *Système de Philosophie, contenant la Logique, Metaphysique & Morale*, 7 t., Lyon, Anisson, Posuel & Rigaud, 1691.
- Registres de l'Académie des beaux arts de Lyon, 1740-1749* (archives de l'Académie des Sciences Belles-Lettres et Arts de Lyon)
- ROHAULT, Jacques, *Traité de physique*, Veuve de Charles Savreux, Paris, 1671.
- ROHAULT, Jacques, *Rohault's System of Natural Philosophy. Illustrated with Dr. Samuel Clarke's Notes, Taken Mostly out of Sr. Isaac Newton's Philosophy. With additions. Done into English by John Clarke*, 2 t., Londres, James and John Knapton, 1729 (2^e éd. anglaise, 1^{re} éd. en 1723).
- SAULMON, *De la dureté des corps*, dans *Procès-verbaux de l'Académie royale des sciences*, t. 40, 1721, fol. 281r.-289r.
- SAULMON, *Du choc des corps à ressort*, MARS 1721 (1723), p. 126-145.
- SAURIN, Joseph, *Solution de la principale difficulté proposée par M. Hugens, contre le Systeme de M. Descartes, sur la cause de la pesanteur*, *Journal des Savans pour l'Année M.DCCIII*, Paris, J. Cusson, Janvier 1703, p. 24-30.
- SAURIN, Joseph, *Examen d'une difficulté considérable proposée par M. Hughens contre le Système Cartésien sur la cause de la Pesanteur*, MARS 1709 (1723), p. 131-148.
- SIGORGNE, Pierre, *Examen & Refutation des Leçons de Physique expliquées par M. de Molières, au Collège Royal de France*, Paris J. Clousier, 1741.
- SIGORGNE, Pierre, *Replique a M. de Molières ou Demonstration Physico-Mathématique, de l'insuffisance des Tourbillons*, Paris, J. Clousier, 1741.
- STEWART, John, *Some Remarks on the Laws of Motion, and the Inertia of Matter*, dans *Essays and Observations Physical and Literary, read before a Society of Edinburgh and published by them*, vol. 1, Edinburgh, G. Hamilton et J. Balfour, 1754, p. 70-141.
- TRABAUD, Jean François, *Principes sur le Mouvement et l'Equilibre, pour servir d'introduction aux Mécaniques & à la Physique*, Paris, J. Desaint et C. Saillant, 1741 (2^e éd. en 1743).
- TRABAUD, Jean François, *Le Mouvement de la Lumière ou premiers Principes d'Optique*, Paris, Durand et Pissot, 1753.
- VARIGNON, Pierre, *Projet d'une Nouvelle Méchanique, avec un Examen de l'opinion de M. Borelli sur les propriétés des poids suspendus par des cordes*, Paris, Veuve E. Martin, J. Bonnot, E. Martin, 1687.
- VARIGNON, Pierre, *Conjectures sur la dureté des corps*, MARS 1666-1699 (1730), t. X, p. 71-73.
- VARIGNON, Pierre, *Des poids qui tombent ou qui montent le long de plusieurs plans contigus*, MARS 1666-1699, t. X, 31 décembre 1693, p. 438-444.
- VARIGNON, Pierre, *Maniere de discerner les vitesses des corps mûs en lignes courbes*, MARS 1704 (1745) p. 286-306.
- VARIGNON, Pierre, *Nouvelle Mécanique ou Statique, dont le projet fut donné en M.DC.LXXXVII*, 2 t., Paris, C. Jombert, 1725.
- VARIGNON, Pierre, *Traité du mouvement et de la mesure des eaux coulantes et jaillissantes. Avec un discours préliminaire du mouvement en général*, Paris, Pissot, 1725.
- VILLEMOT, Philippe, *Nouveau système ou nouvelle explication du mouvement des planetes*, Lyon, L. Declaustre, 1707.
- WALLIS, John, *Mechanicorum, sive Tractatus de Motu*, dans *Opera Mathematica*, vol.1, Oxford, Sheldon, 1695 (1^{re} éd. 1669-1671).

Sources secondaires

- AITON, John, *The Vortex Theory of Planetary Motions*, Londres, New York, Macdonald, Elsevier, 1972.
- ALQUIE, Ferdinand, *Le cartésianisme de Malebranche*, Paris, Vrin, 1974.

- ANFRAY, Jean-Pascal, « *Partes extra partes*. Étendue et impénétrabilité dans la correspondance entre Descartes et More », *Les Etudes philosophiques*, n° 108, janvier 2014, p. 37-58.
- ANSTEY, Peter R., « Le ressort de l'air selon Boyle et Mariotte », dans *La philosophie naturelle de Robert Boyle*, éd. M. Dennehy et C. Ramond, Paris, Vrin, 2009, p. 379-403.
- ARIEW, Roger, Gabbey, Alan, « The scholastic background », *The Cambridge History of Seventeenth-Century Philosophy*, éd. D. Garber, M. Ayers, Cambridge University Press, Cambridge, 1997, vol. 1, p. 423-453.
- BARDOUT, Jean-Christophe, « Quelques remarques sur le malebranchisme en France au siècle des Lumières », éd. D. Kolesnik-Antoine, *Les Malebranchismes des Lumières. Etudes sur les réceptions contrastées de la philosophie de Malebranche, fin XVII^e et XVIII^e siècles*, Paris, Honoré Champion, p. 11-18.
- BENIGUI, Isaac, *Théories électriques du XVIII^e siècle. Correspondance Nollet-Jallabert*, Georg, Genève, 1984.
- BERSTEIN, Howard R., « Passivity and Inertia in Leibniz's Dynamics », *Studia Leibnitiana*, vol. XIII-1, 1981, p. 97-113.
- BERTOLONI MELI, Domenico, « The Relativization of Centrifugal Force », *Isis*, 81, 1990, p. 23-43.
- BLAY, Michel, « Une clarification dans le domaine de l'optique physique : bigness et promptitude », *Revue d'histoire des sciences*, Vol. 33, n° 3, 1980, p. 215-224.
- BLAY, Michel, *La naissance de la mécanique analytique. La science du mouvement au tournant des 17^e et 18^e siècles*, Paris, PUF, 1992.
- BOAS, Marie, « The Establishment of the Mechanical Philosophy », *Osiris*, vol. 10, 1952, p. 412-541.
- BORGHERO, Carlo, *Les Cartésiens face à Newton. Philosophie, science et religion dans la première moitié du XVIII^e siècle*, Turnhout, Brepols, 2011.
- BRUNET, « Un grand débat sur la physique de Malebranche au XVIII^e siècle », *Isis*, XX, 2, 1933, p. 367-395.
- BRUNET, Pierre, *L'introduction des théories de Newton en France au XVIII^e siècle avant 1738*, Genève, Slatkine reprints, 1970 (1^{re} éd. 1931).
- BUSSOTTI, Paolo, *The Complex Itinerary of Leibniz's Planetary Theory. Physical Convictions, Metaphysical Principles and Keplerian Inspiration*, Cham, Birkhäuser, 2015.
- BUZON, Frédéric de, CARRAUD, Vincent, *Descartes et les « Principia » II. Corps et mouvement*, Paris, PUF, 1994.
- BUZON, Frédéric de, « Repos ou mouvement conspirant : Leibniz et les articles 54 et 55 de la partie II des *Principia philosophiæ* », *Revue d'Histoire des Sciences*, t. 58, n° 1, 2005, p. 105-122.
- CANTOR, Geoffrey N., *Optics after Newton : Theories of Light in Britain and Ireland, 1704-1840*, Manchester University Press, Manchester, 1983.
- CHABOT, Hugues, FERLIN, Fabrice, « Capillarité, adhésion, cohésion : physique explicative et physique expérimentale chez Dutour de Salvert (1711-1789) », éd. P. Crépel et J. Ehrard, *Etienne-François Dutour de Salvert (1711-1789). Un physicien auvergnat du XVIII^e siècle*, Paris, L'Harmattan, 2014, p. 227-301.
- CHABOT, Hugues, BRETEIL, Nicolas, « La réception épistémologique de l'œuvre scientifique de Dortous de Mairan dans l'*Encyclopédie* », *Revue d'Histoire des Sciences*, tome 68-2, 2015, p. 375-404.
- CHAREIX, Fabien, *La philosophie naturelle de Christiaan Huygens*, Paris, Vrin, 2006.
- CLARKE, Desmond M., « The Impact Rules of Descartes' Physics », *Isis*, 68, n° 1, 1977, p. 55-66.
- CLARKE, Desmond M., « The Concept of *Vis* in Part III of the *Principia* », éd. J. R. Armogathe et G. Belgioioso, *Descartes : Principia Philosophiæ (1644-1994)*, Vivarium, Naples, 1996, p. 321-339.
- CLERICUZIO, Antonio, « A redefinition of Boyle's chemistry and corpuscular philosophy », *Annals of science*, vol. 47, 1990, p. 561-589.
- CLERICUZIO, Antonio, « The Mechanical Philosophy and the Spring of the Air. New Light on Robert Boyle and Robert Hooke », *Nuncius*, 13, 1998, p. 69-75.
- CLERICUZIO, Antonio, *Principles and Corpuscles. A Study of Atomism and Chemistry in the Seventeenth Century*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- COSTABEL, Pierre, *La dynamique de Leibniz, les textes de 1692*, Paris, Hermann, 1960.

- COSTABEL, Pierre, « Pierre Varignon (1654-1722) et la diffusion en France du calcul différentiel et intégral », *Conférences du Palais de la Découvertes*, D 108, Paris, Palais de la Découverte, 1965, p. 7-28.
- COSTABEL, Pierre, « La participation de Malebranche au mouvement scientifique – le modèle tourbillonnaire », *Malebranche l'homme et l'œuvre 1638-1715*, Paris, Vrin, 1967, p. 75-101.
- COSTABEL, Pierre, *Démarches originales de Descartes savant*, Paris, Vrin, 1982.
- COSTABEL, Pierre, *La signification d'un débat sur trente ans (1728-1758). La Question des forces vives*, Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences, n° 8, 1983.
- CREPEL, Pierre, SCHMIT, Christophe, *Autour de Descartes et Newton. Le paysage scientifique lyonnais dans le premier XVIII^e siècle*, Paris, Hermann, 2017.
- DARRIGOL, Olivier, « The analogy between light and sound in the history of optics from Malebranche to Thomas Young » *Physis*, vol. 46, 2009, p. 111-217.
- DARRIGOL, Olivier, « The Analogy between Light and Sound in the History of Optics from ancient Greek to Isaac Newton. », *Centaurus*, Vol. 52, Issue 2 (Part 1), p. 117-155 et Issue 2 (Part 2), p. 206-257.
- DARRIGOL, Olivier, *A History of Optics. From Greek Antiquity to the Nineteenth Century*, Oxford University Press, Oxford, 2012.
- DIJKSTERHUIS, Eduard Jan, *The Mechanization of the World Picture*, Princeton, Princeton University Press, 1961.
- DOBRE, Mihnea, « Rohault's Cartesian Physics », éd. M. Dobre et T. Nyden, *Cartesians Empiricisms*, Dordrecht, Londres, Heidelberg, New York, 2013, p. 203-226.
- DOWNING, Lisa, « Efficient Causation in Malebranche and Berkeley », éd. T. M. Schmaltz, *Efficient Causation. A History*, Oxford, Oxford University Press, 2014, p. 198-230.
- DUCHESNEAU, François, *La dynamique de Leibniz*, Paris, Vrin, 1994.
- DUHEM, Pierre, « L'optique de Malebranche », *Revue de Métaphysique et de Morale*, t. 23, n° 1, 1916, p. 37-91.
- FERLIN, Fabrice, « Le Lyonnais Philippe Villemot, fondateur d'une 'astronomie cartésienne' », éd. P. Crépel et C. Schmit, *Autour de Descartes et Newton. Le paysage scientifique lyonnais dans le premier XVIII^e siècle*, Paris, Hermann, 2017, p. 163-192.
- FICHANT, Michel, *La réforme de la dynamique*, Paris, Vrin, 1994.
- FICHANT, Michel, « *Actiones sunt suppositorum*, l'ontologie leibnizienne de l'action », *Philosophie*, n° 53, 1997, p. 135-148.
- FICHANT, Michel, *Science et métaphysique dans Descartes et Leibniz*, Paris, PUF, 1998.
- FIRODE, Alain, « Les lois du choc et la rationalité de la mécanique selon D'Alembert », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, vol. 21, n° 1, 1996, p. 113-129.
- FIRODE, Alain, *La dynamique de D'Alembert*, Paris-Montréal, Vrin-Bellarmin, 2001.
- FIRODE, Alain, « Le cours de philosophie d'Adrien Geffroy », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, n° 38, 2005, p. 203-224.
- FIRODE, Alain, « Le cartésianisme dans le cours de philosophie au début du XVIII^e siècle », *Histoire de l'éducation*, n° 120, 2008, p. 55-76.
- FRANCKOWIAK, Rémy, Peterschmitt, Luc, « La chimie de Homberg : une vérité certaine dans une physique contestable », *Early Science and Medicine*, 10/1, 2005, p. 65-90.
- FRANCKOWIAK, Rémy, « La chimie du XVII^e siècle : une question de principes », *Methodos. Savoirs et textes*, 8, 2008, « Chimie et mécanisme à l'âge classique », <https://methodos.revues.org/>.
- FREMONT, Christiane (éd), *Système nouveau de la nature et de la communication des substances et autres textes 1690-1703*, Paris, GF Flammarion, 1994.
- GABBEY, Alan, « Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics », *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 2, 1971-1972, p. 1-67.
- GABBEY, Alan, « The Mechanical Philosophy and its Problems : Mechanical explanations, Impenetrability, and Perpetual Motion », éd. J. C. Pitt, *Change and Progress in Modern Science*, Dordrecht, Reidel, 1985, p. 9-84.
- GABBEY, Alan, « Newton's *Mathematical Principles of Natural Philosophy* : a Treatise on 'Mechanics' ? », éd. P. M. Harman et A. E. Shapiro, *The Investigation of Difficult Things. Essays on Newton and the History of Exact Sciences*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992, p. 305-322.

- GABBEY, Alan, « Between *Ars* and *Philosophia Naturalis* : Reflections on the Historiography of Early Modern Mechanics », éd. J. V. Field and F. A. J. L. James, *Renaissance and Revolution : Humanists, Scholars, Craftsmen and natural Philosophers in Early Modern Europe*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993, p. 133-146.
- GABBEY, Alan, « Newton, active powers, and the mechanical philosophy », éd. B. I. Cohen et G. E. Smith, *The Cambridge Companion to Newton*, Cambridge, Cambridge University Press, 2002, p. 329-357.
- GARBER, Daniel, *La physique métaphysique de Descartes*, Paris, PUF, 1999.
- GARBER, Daniel, « Remarks on the Pre-history of the Mechanical Philosophy », éd. D. Garber et S. Roux, *The Mechanization of natural Philosophy*, Dordrecht, Springer, 2012, p. 3-26.
- GILSON, Etienne, *Index scolastico-cartésien*, Vrin, Paris, 1979 (2^e édition).
- GUERRINI, Anita, « Chemistry Teaching at Oxford and Cambridge, circa 1700 », éd. P. Rattansi et A. Clericuzio, *Alchemy and Chemistry in the 16th and the 17th Century*, Dordrecht, Kluwer, 1994, p. 183-199.
- GUERLAC, Henry, *Newton on the Continent*, Ithaca, Londres, Cornell University Press, 1981.
- GUEROULT, Martial, « Métaphysique et physique de la force chez Descartes et Malebranche », *Revue de Métaphysique et de Morale*, n°1 et n° 2, 1954, p. 1-37 et p. 113-134.
- HAKFOORT, Casper, *Optics in the Age of Euler. Conceptions of the Nature of Light 1700-1795*, Cambridge, Cambridge University Press, 1995.
- HALL, A. Rupert, BOAS HALL, Marie (éd.), *Unpublished Scientific Papers*, Cambridge, Cambridge University Press, 1962.
- HANKINS, Thomas L., « The Influence of Malebranche on the Science of Mechanics During the Eighteenth Century », *Journal of the History of Ideas*, vol. 28, n° 2, 1967, p. 193-210.
- HANKINS, Thomas L., *Jean D'Alembert, Science and the Enlightenment*, New York, Gordon and Breach, 1990 (1^{re} éd., 1970).
- HEILBRON, John L., *Electricity in the 17th & 18th Centuries. A Study of Early Modern Physics*, Mineola, New York, Dover Publications, 1999 (1^{re} éd. en 1979).
- HEIMANN, Peter M., « Ether and imponderables », éd. G. N. Cantor et M. J. S. Hodge, *Conceptions of ether. Studies in the history of ether theories 1740-1900*, Cambridge, Cambridge University Press, 1981, p. 61-83.
- HERIVEL, John, « Sur les premières recherches de Newton en dynamique », *Revue d'Histoire des Sciences et de leurs applications*, t. XV, n° 2, 1962, p. 105-140.
- HERIVEL, John, *The background to Newton's Principia, a study of Newton's Dynamical Researches in the Years 1664-1684*, Oxford, Clarendon Press, 1965.
- HOME, Rod W., « The Notion of Experimental Physics in Early Eighteenth-Century France », éd. J. C. Pitt, *Change and Progress in Modern Science*, Dordrecht, Reidel, 1985, p. 107-131.
- ILTIS, Carolyn, « The Decline of Cartesianism in Mechanics : the Leibnizian-Cartesian Debates », *Isis*, vol. 64, n° 3, 1973, p. 356-373.
- JANIAK, Andrew, *Newton as Philosopher*, Cambridge, Cambridge University Press, 2008.
- JOLY, Bernard, « La question de la nature du feu dans la chimie de la première moitié du XVIII^e siècle », *Corpus, revue de philosophie*, n° 36, 1999, p. 41-63.
- JOLY, Bernard, « Les théories du feu de Voltaire et madame du Châtelet », éd. F. De Gandt, *Cirey dans la vie intellectuelle. La réception de Newton en France*, Oxford, Voltaire Foundation, 2001, p. 212-237.
- JOLY, Bernard, « L'anti-newtonianisme dans la chimie française au début du XVIII^e siècle », *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, vol. 53, 2003, p. 213-224.
- JOLY, Bernard, « Chimie et mécanisme dans la nouvelle Académie royale des sciences : les débats entre Louis Lémery et Etienne-François Geoffroy », *Methodos*, 8, 2008, <https://methodos.revues.org>.
- JOLY, Bernard, *Descartes et la chimie*, Paris, Vrin, 2011.
- JOLY, Bernard, « Etienne-François Geoffroy, entre la Royal Society et l'Académie royale des sciences : ni Newton, ni Descartes », *Methodos*, 12, 2012, <http://journals.openedition.org/methodos/2855>.
- KOLESNIK-ANTOINE, Delphine (éd.), *Qu'est-ce qu'être cartésien ?* Lyon, ENS éditions, 2013.
- KOYRE, Alexandre, *Etudes galiléennes*, Paris, Hermann, 1966.

- LE LAY, Colette, REMY, Frédérique, « La *Dissertation sur la glace* (1749) », *Revue d'Histoire des Sciences*, tome 68-2, 2015, p. 359-374.
- LE RU, Véronique, « La force accélératrice : un exemple de définition contextuelle dans le *Traité de Dynamique* de d'Alembert », *Revue d'Histoire des Sciences*, 47 (3), 1994, p. 475-494.
- LE RU, Véronique, *Jean Le Rond D'Alembert philosophe*, Paris, Vrin, 1994.
- LE RU, Véronique, *La crise de la substance et de la causalité. Des petits écarts cartésiens au grand écart occasionnaliste*, Paris, CNRS, 2003.
- LE RU, Véronique, « L'attraction et l'argument de l'inconcevable », *Archives internationales d'histoire des sciences*, vol. 53, n° 150-151, 2003, p. 131-138.
- LOVE, Roseleen, « Boerhaave and the Element Instrument concept of fire », *Annals of science*, vol. 31, 1974, p. 547-559.
- MCGUIRE, James E., « Boyle's Conception of Nature », *Journal for the History of Ideas*, vol. 33 (4), 1972, p. 523-542.
- MCGUIRE, James E., Tamny, Martin, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983.
- MCNIVEN HINE, Ellen, *A critical study of Condillac's Traité des systèmes*, La Haye, M. Nijhoff Publishers, 1979.
- MCNIVEN HINE, Ellen, « Dortous de Mairan, the 'Cartonian' », *Studies on Voltaire and the Eighteenth Century*, 266, 1989, p. 163-179.
- MCNIVEN HINE, Ellen, « Dortous de Mairan and Eighteenth Century Systems Theory », *Gesnerus*, 52, 1995, p. 54-65.
- METZGER, Hélène, *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e à la fin du XVIII^e siècle*, Paris, PUF, 1923.
- MOISUC, Cristian, *Métaphysique et théologie chez Nicolas Malebranche. Proximité, éloignement, occasionnalisme*, Bucarest, Zetabooks, 2015.
- MOREAU, Denis, *Malebranche. Une philosophie de l'expérience*, Paris, Vrin, 2004.
- MOUY, Paul, *Le Développement de la Physique Cartésienne*, Paris, Vrin, 1934.
- MOUY, Paul, « Malebranche et Newton », *Revue de métaphysique et de morale*, t. 45, n° 2, 1938, p. 411-435.
- NADLER, Steven, « Malebranche on Causation », éd. S. Nadler, *The Cambridge Companion to Malebranche*, Cambridge, Cambridge University Press, 2000, p. 112-138.
- PETERSCHMITT, Luc, « The Cartesians and Chemistry : Cordemoy, Rohault, Régis », éd. L. M. Principe, *Chymists and Chymistry*, Sagamore Beach, Watson Publishing International LLC, 2007, p. 193-202.
- PETERSCHMITT, Luc, *Berkeley et la chimie. Une philosophie pour la chimie au XVIII^e siècle*, Classiques Garnier, Paris, 2011.
- PRINCIPE, Lawrence M., « Wilhelm Homberg : Chymical Corpuscularianism and Chrysopœia in the Early Eighteenth Century », éd. C. Lüthy, J. E. Murdoch et W. R. Newman, *Late Medieval and Early Modern Corpuscular Matter Theories*, Leiden, Brill, 2001, p. 535-556.
- PRINCIPE, Lawrence M. (éd.), *New Narratives in Eighteenth-Century Chemistry*, Dordrecht, Springer, 2007.
- PRINCIPE, Lawrence M., « Wilhelm Homberg et la chimie de la lumière », *Methodos, savoirs et textes*, 8, 2008, <https://methodos.revues.org>.
- PULTE, Helmut, *Das Prinzip der kleinsten Wirkung und die Kraftkonzeptionen der rationalen Mechanik*, Stuttgart, F. Steiner Verlag, 1989.
- PYLE, Andrew, *Malebranche*, Routledge, Londres, New York, 2003.
- QUINN, Arthur, « Repulsive force in England, 1706-1744 », *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 13, n° 1, 1982, p. 109-128.
- RANEA, Alberto G., « The *a priori* Method and the *actio* Concept Revised. Dynamics and Metaphysics in a unpublished controversy between Leibniz and Denis Papin », *Studia Leibnitiana*, XXI, 1, 1984, p. 42-68.
- REY, Anne-Lise, « Le leibnizo-newtonianisme : la construction d'une philosophie naturelle complexe dans la première moitié du 18^e siècle », *Revue Dix-huitième siècle*, n° 45, p. 115-129.
- ROBINET, André, *Malebranche et Leibniz, relations personnelles, présentées avec les textes complets des auteurs et de leurs correspondants revus, corrigés et inédits*, Paris, Vrin, 1955.

- ROBINET, André, « Le groupe malebranchiste introducteur du calcul infinitésimal en France », *Revue d'histoire des sciences*, vol. 13-4, 1960, p. 287-308.
- ROBINET, André, « La philosophie malebranchiste des mathématiques », *Revue d'histoire des sciences*, vol. 14-3, 1961, p. 205-254.
- ROBINET, André, *Malebranche de l'Académie des sciences. L'œuvre scientifique, 1674-1715*, Paris, Vrin, 1970.
- ROBINET, André, « Huygens et Malebranche », dans *Huygens et la France*, collectif, Paris, Vrin, 1982, p. 223-239.
- ROUX, Sophie, *La philosophie mécanique (1630-1690)*, thèse, EHESS, Paris, 1996.
- ROUX, Sophie, « Le scepticisme et les hypothèses de la physique », *Revue de synthèse*, n°2-3, avr.-sept. 1998, p. 211-255.
- ROUX, Sophie, « Descartes atomiste ? », dans *Atomismo e continuo nel XVII secolo. Atti del convegno internazionale*, Napoli, 28-30 avril 1997, Napoli, Vivarium, 2000, p. 211-274.
- ROWLINSON, John, *Cohesion, a Scientific History of Intermolecular Forces*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.
- SABRA, Abdelhamid I., « Newton and the « Bigness » of vibrations », *Isis*, vol. 54, n° 2, 1963, p. 267-268.
- SCHMIT, Christophe, « Rapports entre équilibre et dynamique au tournant des 17^e et 18^e siècles », *Early Science and Medicine*, vol. 19, Issue 4, 2014, p. 505-548.
- SCHMIT, Christophe, « Les dynamiques de Jean-Jacques Dortous de Mairan », *Revue d'histoire des sciences*, t. 68-2, 2015, p. 281-309.
- SCHMIT, Christophe, « Mécanique, statique, dynamique. Répartition du savoir et définitions dans l'Encyclopédie », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, 1^{re} partie, vol. 49, 2014, p. 225-256 et 2^e partie, vol. 50, 2015, p. 274-299.
- SCHULLER, Volkmar, « Samuel Clarke's annotations in Jacques Rohault's *Traité de physique*, and how they contributed to popularising Newton's physics », éd. W. Lefevre, *Between Leibniz, Newton, and Kant : philosophy and science in the eighteenth century*, Dordrecht, Boston, Kluwer Academic Publishers, 2001, p. 95-110.
- SERIS, Jean-Pierre, *Machines et communication*, Vrin, Paris, 1987.
- SHANK, John Bennett, « "There Was no such Thing as the 'Newtonian Revolution', and the French Initiated it". Eighteenth-century Mechanics in France before Maupertuis », *Early Science and Medicine*, vol. 9, Issue 3, 2004, p. 257-292.
- SHANK, John Bennett, *The Newton Wars and the Beginning of the French Enlightenment*, Chicago, The University of Chicago Press, 2008.
- SHAPIRO, Alan E., « Kinetics Optics : A study of the Wave Theory of Light in the Seventeenth Century », *Archives for History of Exact Science*, 11, Issue 2-3, 1973, p. 134-266.
- SHAPIRO, Alan E., « Light, pressure, and rectilinear propagation : Descartes' celestial optics, and Newton's hydrostatics », *Studies in History and Philosophy of Sciences*, vol. 5, Issue 3, 1974, p. 239-296.
- SUISKY, Dieter, « Leonhard Euler and Emilie du Châtelet. On the Post-Newtonian Development of Mechanics », éd. R. Hagengruber, *Emilie du Châtelet between Leibniz and Newton*, Londres, Springer, 2012, p. 113-155.
- THACKRAY, Arnold, *Atoms and Powers : An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, Cambridge MA, Harvard University Press, 1970.
- VEATCH MORIARTY, Paul, « The principle of sufficient reason in Du Châtelet's Institutions », éd. J. P. Zinsser et J. C. Hayes, *Émilie Du Châtelet : rewriting Enlightenment philosophy and science*, Oxford, Voltaire Foundation, 2006, p. 203-225.
- WEBSTER, Charles, « The discovery of Boyle's law and the concept of the elasticity of air in the seventeenth century », *Archive for History of Exact Sciences*, 2, 1965, p. 441-502.
- WESTFALL, Richard S., *Force in Newton's Physics, the science of dynamics in the seventeenth century*, Londres/New York, Macdonald/American Elsevier, 1971
- WESTFALL, Richard S., *The Construction of Modern Science: Mechanisms and Mechanics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1977.

INDEX DES PERSONNES

A

ABAUZIT, Firmin :
ADAM, Charles :
AITON, Eric J. :
ALEMBERT, Jean Le Rond D' :
AMONTONS, Guillaume :
ALQUIE, Ferdinand :
ANGO, Pierre :
ANFRAY, Jean-Pascal :
ANSTEY, Peter R. :
ARIEW, Roger :
ARISTOTE :
ARMOGATHE, Jean-Robert :
AYERS, Michael :

B

BANIERES, Jean :
BARDOUT, Jean-Christophe :
BASNAGE DE BEAUVAL, Henri :
BAYLE, Pierre :
BELAVAL, Yvon :
BELGIOIOSO, Giulia :
BENGUIGUI, Isaac :
BERKELEY, George :
BÉRAUD, Laurent :
BERNOULLI, Daniel :
BERNOULLI, Jacques :
BERNOULLI, Jean (I) :
BERNOULLI, Jean (II) :
BERRAND, Pierre :
BERSTEIN, Howard R. :
BERTIER, Joseph Etienne :
BERTOLONI MELI, Domenico :
BIARNAIS, Marie-Françoise :
BILFINGER, Georg Bernhard :

BLAY, Michel :
BOAS, Marie :
BOERHAAVE, Hermann :
BORDE, Louis :
BORGHERO, Carlo :
BOUILLET, Jean :
BOYLE Robert :
BRETEIL, Nicolas :
BRUNET, Pierre :
BUSSOTTI, Paolo :
BUZON, Frédéric de :

C

CANTOR, Geoffrey N. :
CARRAUD, Vincent :
CASSINI, Jean Dominique :
CASTEL, Louis Bertrand :
CATELAN, François de (abbé) :
CAVENDICH, William (Marquis de Newcastle) :
CHABOT, Hugues :
CHAMBERS, Ephraïm :
CHAREIX, Fabien :
CHEYNET, Charles :
CLAIR, Pierre :
CLAIRAUT, Alexis Claude :
CLARKE, Desmond M. :
CLARKE, Samuel :
CLERSELIER, Claude :
CLERICUZIO, Antonio :
COHEN, I. Bernard :
CONDILLAC, Etienne Bonnot de :
COPERNIC, Nicolas :
CORDEMOY, Gérald de :
COSTABEL, Pierre :
COSTE, Pierre :
COTES, Roger :
CRAMER, Gabriel :

CREPEL, Pierre :
CREQUY, Jean-Antoine comte de :
CROUSAZ, Jean Pierre de :

D

DARRIGOL, Olivier :
DECHALES, Claude François Milliet :
DEBEAUNE, Florimond de :
DENNEHY, Myriam :
DESAGULIERS, John Theophilus :
DESCARTES, René :
DES MAIZEAUX (DESMAIZEAUX), Pierre :
DIDEROT, Denis :
DIJKSTERHUIS, Eduard Jan :
DOBRE, Mihnea :
DU CHATELET, Gabrielle Emilie Le Tonnelier de Breteuil marquise :
DU CLOS, Samuel Cottreau :
DU HAMEL, Jean-Baptiste
DOWNING, Lisa :
DUCHESNEAU, François :
DUFAY, Charles François de Cisternay :
DUHEM, Pierre :
DUTOUR DE SALVERT, Etienne-François :

E

EHRARD, Jean :
EUCLIDE :
EULER, Leonhard :

F

FABRI, Honoré :
FERLIN, Fabrice :
FESTA, Egidio :
FICHANT, Michel :
FIELD, Judith V. :
FIRODE, Alain :
FONTENELLE, Bernard le Bovier de :

FORMEY, Samuel :
FRANCKOWIAK, Rémi :
FREIND, John :
FREMONT, Christiane :
FURETIERE, Antoine :

G

GABBAY, Alan :
GALILEI (GALILEE), Galileo :
GAMACHES, Étienne Simon de :
GANDT, François De :
GARBER, Daniel :
GASSENDI, Pierre :
GATTO, Romano :
GEFFROY, Adrien :
GEOFFROY, Claude Joseph :
GEOFFROY, Etienne François :
GERHARDT, Carl L. :
GILSON, Etienne :
GIRBAL, François :
GOULD, William :
GRIMALDI, Francesco Maria :
GUERICKE, Otton de :
GUERLAC, Henry :
GUEROULT, Martial :
GUERRINI, Anita :

H

HAGENGRUBER, Ruth :
HAKFOORT, Casper :
HALES, Stephen :
HANKINS, Thomas L. :
HARMAN, Peter M.:
HARTSOEKER, Nicolas :
HAUKSBEE, Francis :
HAYES, Julie C. :
HEILBRON, John L. :

HEIMANN, Peter M. :
HERIVEL, John :
HOBBS, Thomas :
HODGE, Michael J. S. :
HOMBERG, Wilhelm :
HOME, Henry :
HOME, Rod W. :
HOOKE, Robert :
HUME, David :
HUYGENS, Christiaan :
HUYGENS, Constantin :

I

ILTIS, Carolyn :

J

JACQUIER, François :
JALLABERT, Jean :
JAMES, Franck A. J. L. :
JANIAK, Andrew :
JANTET (abbé) :
JOLY, Bernard :
JURIN, James :

K

KEILL, John :
KEPLER, Johannes :
KERANFLECH, Charles Hercule de :
KOLESNIK-ANTOINE, Delphine :
KOYRE, Alexandre :

L

L'HOPITAL, Guillaume François Antoine de :
LA CHAPELLE, Jean Baptiste Vieillot, dit :
LA FORGE, Louis de :
LA HIRE, Philippe de :
LAMY, François :

LAUNAY, Jean Baptiste Le Corgne de :
LE CLERC, Jean :
LE LAY, Colette :
LE MONNIER, Pierre :
LE RU, Véronique :
LE SEUR, Thomas :
LE THOREL :
LE FEBVRE :
LEFEVRE, Wolfgang :
LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm :
LELONG, Jacques :
LEMERY, Louis :
LEMERY, Nicolas :
LOVE, Rosaleen :
LOZERAN DU FESC, Louis Antoine :
LUDOT, Jean Baptiste :
LÜTHY, Christoph :

M

MAIRAN, Jean Jacques Dortous de :
MALEBRANCHE, Nicolas :
MARALDI, Giacomo Philippo :
MARIOTTE, Edme :
MATHON DE LA COUR, Jacques :
MATTY, Matthew :
MAUPERTUIS, Pierre Louis Moreau de :
MAZIERE, Jean Simon :
MCGUIRE, James E. :
MCNIVEN HINE, Ellen :
MERSENNE, Marin :
METZGER, Hélène :
MOISUC, Cristian :
MOLIERES, Joseph Privat de :
MONTIGNY, Etienne Mignot de :
MORE, Henry :
MOREAU, Denis :
MORIARTY, Paul Veatch :

MORIN, Jean-Baptiste :
MOUY, Paul :
MURDOCH, John E. :
MUSSCHENBROEK, Pierre Van :

N

NADLER, Steven :
NECKER, Louis :
NEWMAN, William R. :
NEWTON, Isaac :
NOLLET, Jean Antoine :
NYDEN, Tammy :

P

PAGNY :
PAPIN, Denis :
PARDIES, Ignace-Gaston :
PARENT, Antoine :
PASSERON, Irène :
PETERSCHMITT, Luc :
PEYROUX, Jean :
PICARD, Jean :
PITT, Joseph C. :
PRINCIPE, Lawrence M. :
PTOLEMEE, Claude :
PUGET, Louis de :
PULTE, Helmut :
PYLE, Andrew :

Q

QUINN, Arthur :

R

RAMOND, Charles :
RANEA, Alberto G. :
RATTANSI, Piyo :
RATTE, Etienne Hyacinthe de :

REAUMUR, René Antoine Ferchault de :
REGIS, Pierre Sylvain :
REMY, Frédérique :
REY, Anne-Lise :
REYNEAU, Charles-René :
ROBINET, André :
ROBINSON, Bryan :
ROWLINSON, John :
RÖMER, Ole Christensen :
ROHAULT, Jacques :
ROUX, Sophie :

S

'S GRAVESANDE, Willem Jacob :
SABRA, Abdelhamid I. :
SAULMON :
SAURIN, Joseph :
SAUVEUR, Joseph :
Savérien, Alexandre :
SCHMALTZ, Tad M. :
SCHMIT, Christophe :
SCHRECKER, Paul :
SCHULLER, Volkmar :
SHAPIRO, Alan E. :
SERIS, Jean-Pierre :
SHANK, John Bennett :
SIGORGNE, Pierre :
SMITH, George E.:
STAHL, Georg Ernst :
STEWART, John :
SUISKY, Peter :

T

TAMNY, Martin :
TANNERY, Paul :
THACKRAY, Arnold :
TRABAUD, Jean François :

V

VARIGNON, Pierre :

VILLEMOT, Philippe :

VIOLETTE, René :

VOLTAIRE :

W

WALLIS, John :

WEBSTER, Charles :

WESTFALL, Richard S. :

WREN, Christopher :

Y

YOUNG, Thomas :

Z

ZENON D'ELEE :

ZINSSER, Judith P. :

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Fig. 1 : <i>Le Monde de René Descartes</i> (1677), p. 441. http://gallica.bnf.fr	36
Fig. 2 : <i>Le Monde de René Descartes</i> (1677), p. 481. http://gallica.bnf.fr	36
Fig. 3 : Malebranche, <i>De la recherche de la vérité</i> (1675), t. 2, p. 497. http://gallica.bnf.fr	64
Fig. 4 : Malebranche, <i>De la recherche de la vérité</i> (1712), t. 3, p. 414. http://gallica.bnf.fr	73
Fig. 5 : Malebranche, <i>De la recherche de la vérité</i> (1712), t. 4, p. 437. http://gallica.bnf.fr	162
Fig. 6 : Malebranche, <i>De la recherche de la vérité</i> (1712), t. 4, p. 448. http://gallica.bnf.fr	162
Fig. 7 : Malebranche, <i>De la recherche de la vérité</i> (1712), t. 4, p. 481. http://gallica.bnf.fr	177
Fig. 8 : Malebranche, <i>De la recherche de la vérité</i> (1712), t. 4, p. 499. http://gallica.bnf.fr	177
Fig. 9 : Malebranche, <i>De la recherche de la vérité</i> (1712), t. 4, p. 510. http://gallica.bnf.fr	183
Fig. 10 : Malebranche, <i>De la recherche de la vérité</i> (1712), t. 4, p. 504 http://gallica.bnf.fr	183
Fig. 11 : Molières [1734], Planche III, fig. 16. http://gallica.bnf.fr	220
Fig. 12 : Molières [1734], Planche III, fig. 15. http://gallica.bnf.fr	220
Fig. 13 : Molières [1734], Planche IV, fig. 19. http://gallica.bnf.fr	224
Fig. 14 : Molières [1734], Planche V, fig. 23. http://gallica.bnf.fr	228
Fig. 15 : Molières, <i>Probleme</i> (1731), Pl. 17, fig. 1 p. 244. http://gallica.bnf.fr	229
Fig. 16 : Molières, <i>Probleme</i> (1731), Pl. 17, fig. 3 p. 244. http://gallica.bnf.fr	229
Fig. 17 : Gamaches, <i>Astronomie physique</i> (1740), Pl. 3, fig. 31. http://gallica.bnf.fr	233
Fig. 18 : Gamaches, <i>Astronomie physique</i> (1740), Pl. 3, fig. 32. http://gallica.bnf.fr	233
Fig. 19 : Gamaches, <i>Astronomie physique</i> (1740), Pl. 3, fig. 33. http://gallica.bnf.fr	233
Fig. 20 : Molières [1734], Planche IV, fig. 29. http://gallica.bnf.fr	321
Fig. 21 : Gamaches, <i>Astronomie physique</i> (1740), fig. 10. http://gallica.bnf.fr	327

Fig. 22 : Gamaches, <i>Astronomie physique</i> (1740), fig. 21. http://gallica.bnf.fr	327
Fig. 23 : Gamaches, <i>Astronomie physique</i> (1740), fig. 23. http://gallica.bnf.fr	328
Fig. 24 : Molières [1739], fig. 37. http://gallica.bnf.fr	336
Fig. 25 : Molières [1739], fig. 38. http://gallica.bnf.fr	336
Fig. 26 : Molières [1739], fig. 48. http://gallica.bnf.fr	336
Fig. 27 : J. (II) Bernoulli, <i>Recherches Physiques et Géométriques</i> (1738), fig. III. http://gallica.bnf.fr	337
Fig. 28 : Molières [1739], fig. 54. http://gallica.bnf.fr	341
Fig. 29 : Molières [1739], fig. 55. http://gallica.bnf.fr	341
Fig. 30 : J. (II) Bernoulli, <i>Recherches Physiques et Géométriques</i> (1738), fig. II. http://gallica.bnf.fr	345
Fig. 31 : Molières [1739], fig. 51. http://gallica.bnf.fr	347
Fig. 32 : Molières [1739], fig. 53. http://gallica.bnf.fr	347
Fig. 33 : Molières [1739], fig. 52. http://gallica.bnf.fr	349
Fig. 34 : Molières [1737], Pl. V, fig. 37. http://gallica.bnf.fr	362
Fig. 35 : Molières [1737], Pl. V, fig. 38. http://gallica.bnf.fr	362
Fig. 36 : Molières [1737], Pl. V, Fig. 31. http://gallica.bnf.fr	363
Fig. 37 : Molières [1737], Pl. V, fig. 39. http://gallica.bnf.fr	374
Fig. 38 : Mairan, <i>Troisième partie des recherches physico-mathématiques</i> (1740), p. 64. http://gallica.bnf.fr	391
Fig. 39 : Mairan, <i>Troisième partie des recherches physico-mathématiques</i> (1740), p. 64. http://gallica.bnf.fr	391
Fig. 40 : D'Alembert, <i>Traité de l'équilibre</i> (1744), pl. 10, fig. 155. http://gallica.bnf.fr	409
Fig. 41 : D'Alembert, <i>Traité de l'équilibre</i> (1744), pl. 10, fig. 156. http://gallica.bnf.fr	409
Fig. 42 : Nollet, <i>Leçons de physique</i> (1743), pl. 2, fig. 15. http://gallica.bnf.fr	436
Fig. 43 : Nollet, <i>Leçons de physique</i> (1743), pl. 2, fig. 16. http://gallica.bnf.fr	436
Fig. 44 : Cotes, <i>Leçons de Physique</i> (1742), pl. 5, fig. 53. http://gallica.bnf.fr	436
Fig. 45 : Cotes, <i>Leçons de Physique</i> (1742), pl. 5, fig. 53. http://gallica.bnf.fr	436

TABLE DES MATIERES

ABREVIATIONS	3
INTRODUCTION GENERALE	5
CAUSALITE, INERTIE ET PETITS TOURBILLONS : HISTORIOGRAPHIE ET THESES	7
Eléments historiographiques	7
Thèses de cet ouvrage	11
« CARTESIENS » ET PHILOSOPHIES MECANIQUES AU XVIII ^e SIECLE	14
PLAN DE L'OUVRAGE	17
PREMIERE PARTIE : FORCE D'INERTIE ET CAUSALITE	21
<i>Chapitre I</i> : LA « FORCE POUR DEMEURER AU REPOS » DE DESCARTES	23
INTRODUCTION	23
LOIS DE LA NATURE, INERTIE, « SOLIDITE » ET « AGITATION »	23
LA « FORCE D'AGIR » ET LA REGLE 4 DES CHOCS	29
TROIS LECTURES DE LA FORCE DE REPOS	32
NEWTON, INERTIE ET EFFORT CENTRIFUGE	32
PARDIES, EQUIVALENCE ONTOLOGIQUE, INDIFFERENCE ET REGLES DU CHOC	36
LEIBNIZ ET L'INERTIE CARTESIENNE	39
CONCLUSION	41
<i>Chapitre II</i> : « FORCE MOUVANTE » ET INERTIE CHEZ MALEBRANCHE	43
INTRODUCTION	43
LE REJET DE LA FORCE DU CORPS AU REPOS	44
REFUS DES EXPLICATIONS « INDISTINCTES » ET DE L'ATOMISME	46
LA CRITIQUE DE DESCARTES : L'INDIFFERENCE DE LA MATIERE ET « LA VOLONTE DE L'AUTEUR DE LA NATURE »	47
LE REPOS COMME PRIVATION DU MOUVEMENT	49
LE ROLE DE LA MATIERE SUBTILE	51
LES ERREURS DE DESCARTES	53
LOIS DE LA NATURE ET « FORCE MOUVANTE »	56
LES REGLES DU CHOC ET L'INERTIE	60
LE CHOC DES « CORPS DURS PAR EUX-MEMES » ET PAR L'ACTION DE LA MATIERE SUBTILE	62
Les règles de 1675 à 1688	63
Les règles de 1692 à 1712	66
<i>Collisions avec conservation de la quantité de mouvement scalaire</i>	67
<i>Collisions des corps durs avec conservation de la quantité de mouvement algébrique</i>	71
COLLISIONS ELASTIQUES	72
Mécanisme de compression mutuelle	72
Les « secondes lois » de 1692-1699 et l'absence de réaction	73
« Les lois générales de la communication des mouvements fondées sur l'expérience »	76
<i>De 1692 à 1699 : la résistance du milieu</i>	78
<i>Les règles définitives</i>	81
CONCLUSION	84
<i>Chapitre III</i> : FORCE DE REPOS ET OCCASIONALISME :	
QUELQUES FORMES PRISES PAR LE MALEBRANCHISME AU XVIII ^e SIECLE	87
INTRODUCTION	87
FORCE DE REPOS, OCCASIONALISME ET INERTIE	88
DURETE ET CHOC DES CORPS	88
Parent, la critique des <i>Principes</i> de Descartes et l'occasionalisme	88
L'origine de la dureté : Varignon, Saulmon, Mazière et Privat de Molières	90
FORCE DE REPOS ET OCCASIONALISME	93
Lamy : lecture critique de Malebranche et occasionalisme	93

Lozeran du Fesc, la matière sans résistance, l'occasionalisme et les débats lyonnais	97
CROUSAZ, LE REPOS SANS ACTIVITE ET LA CRITIQUE DE LA FORCE D'INERTIE	101
JUSTIFIER LA RESISTANCE A UNE MISE EN MOUVEMENT	107
Crousaz et Privat de Molières	107
Dortous de Mairan, Saulmon et le « mécanisme caché »	111
ABSENCE D'INERTIE ET CAUSALITE	113
INDIFFERENCE ET INERTIE	114
L'ABSENCE D'INERTIE CHEZ MALEBRANCHE : LECTURES CRITIQUES	119
Privation et inertie : la critique de Samuel Clarke	119
Sigorgne critique de Privat de Molières	121
Les <i>Institutions physiques</i> de la marquise Du Châtelet	123
TRABAUD, OCCASIONALISME ET INERTIE	125
Science mathématique	125
La réduction des causes aux seuls effets	126
Trabaud et l'occasionalisme	127
L'« axiome » de proportionnalité des effets aux causes	128
La force d'inertie	130
D'ALEMBERT ET LE REJET D'UNE MECANIQUE CAUSALE	131
La mécanique sans la nature des choses	131
Inconcevabilité des causes et science des effets	134
L'axiome de proportionnalité cause-effet et la force comme un nom	137
La connaissance des thèses de Malebranche, de Crousaz et de Trabaud	139
CONCLUSION	143
DEUXIEME PARTIE : LA THEORIE DES PETITS TOURBILLONS	147
<i>Chapitre I : L'ECLAIRCISSEMENT XVI DE MALEBRANCHE :</i>	
TESTAMENT ET PROGRAMME SCIENTIFIQUES	149
INTRODUCTION	149
LECTURES MALEBRANCHIENNES DU SYSTEME DE DESCARTES	151
LA METHODE ET LE SYSTEME DE DESCARTES	152
MATIERE ET SYSTEME EN DEVENIR	157
LE SYSTEME DES PETITS TOURBILLONS	159
LE SYSTEME ET SES JUSTIFICATIONS	160
Le ballon comprimé	160
Système et considérations optiques	162
LES PROPRIETES DE LA MATIERE SUBTILE	167
LE « PRINCIPE GENERAL DE LA PHYSIQUE »	168
LES EXPLICATIONS PHYSIQUES	171
MECANISME DU FEU	172
PESANTEURS	174
La pesanteur des corps terrestres	174
« La pesanteur des planètes »	177
REFRACTION ET REFLEXION DE LA LUMIERE	181
Le rôle des petits tourbillons	181
Lois de réfraction et de réflexion	183
CONCLUSION	186
<i>Chapitre II : LES PETITS TOURBILLONS AU XVIII^e SIECLE :</i>	
EXISTENCE, PROPRIETES ET SYSTEME DU MONDE	191
INTRODUCTION	191
LA REFORME DE DESCARTES : LE REJET DES LOIS CARTESIENNES ET LES PETITS TOURBILLONS	192
DU REJET DES LOIS A CELUI DES ELEMENTS	192
LES PETITS TOURBILLONS SELON LE MODELE DES GRANDS ET LA CONSTRUCTION ANALOGIQUE	197
LA CONSERVATION DU MOUVEMENT	201

L'UNIVERS ET SES BORNES	204
LES PROPRIETES DE LA MATIERE SUBTILE	205
MATIERE MOLLE ORIGINELLE	206
L'HOMOGENEITE	207
LA FLUIDITE	208
LE « RESSORT » ET LA FORCE DE LA MATIERE SUBTILE	210
« L'INSENSIBLE RESISTANCE », L'ABSENCE DE PESANTEUR ET D'INERTIE	213
DE LA MECANIQUE RATIONNELLE AU MECANISME	218
LES PROPOSITIONS MECANIQUES	218
LE MECANISME DES TOURBILLONS AVEC DES CORPS DURS	222
LES LOIS DE KEPLER	224
DES CORPS DURS AUX PETITS TOURBILLONS	226
Les surfaces inflexibles	226
Les lois de Kepler dans les tourbillons elliptiques	228
FROTTEMENTS INSENSIBLES ET TROISIEME LOI DE KEPLER	231
LE SYSTEME DU MONDE	236
L'EQUILIBRE DES PETITS TOURBILLONS	236
« L'ESPRIT SYSTEMATIQUE »	238
LES CAUSES PHYSIQUES	240
EXPLICATIONS PHYSIQUES, HYPOTHESES, ECONOMIE ET SIMPLICITE DES PRINCIPES	244
CONCLUSION	248
<i>Chapitre III : THEORIES DE LA MATIERE</i>	251
INTRODUCTION	251
LES ELEMENTS	254
LA « CHIMIE PHISIQUE »	259
LES « PRINCIPES »	259
L'éther et la terre	260
L'air	261
L'eau et l'huile	267
Les sels	273
L'élaboration des « principes » : l'image des sédiments	274
LES OPERATIONS CHIMIQUES OU LA RUPTURE D'EQUILIBRE COMME « CISEAU UNIVERSEL »	275
Acides, alkalis et mécanisme des dissolutions	278
Le mouvement circulaire et l'équilibre des milieux	282
THEORIES DU FEU	284
PRIVAT DE MOLIERES, LE CORGNE DE LAUNAY ET KERANFLECH : LE FEU ET LA LUMIERE	286
LOZERAN DU FESC ET BOUILLET : FEU ET FERMENTATION	289
La nature du feu selon Lozeran du Fesc	289
La propagation du feu	291
LA FORMATION DES ECLAIRS : LOZERAN DU FESC ET PRIVAT DE MOLIERES	294
PRIVAT DE MOLIERES, BERAUD ET LA CALCINATION DES METAUX	297
COHESION ET FLUIDITE DES CORPS SENSIBLES	304
« PARTIES INTEGRANTES » ET FLUIDE COMPRIMANT	304
LES ETATS DE LA MATIERE	307
LA « QUESTION METAPHYSIQUE »	310
CONCLUSION	312
<i>Chapitre IV : MECANISMES DES PHENOMENES PHYSIQUES</i>	315
INTRODUCTION	315
COLLISIONS PARFAITEMENT ELASTIQUES	315
PESANTEUR : MECANISMES ET LOI DE CHUTE LIBRE	317
BOUILLET ET LA GENERALISATION DE LA THEORIE DE MALEBRANCHE	317
PRIVAT DE MOLIERES ET LE CORGNE DE LAUNAY :	
DES PETITS TOURBILLONS A LA LOI MATHEMATIQUE DE CHUTE	321

GAMACHES ET KERANFLECH : LE « FLUX » ET LE « REFLUX » DE L'ETHER	326
CONCLUSION	330
NATURE DE LA LUMIERE ET PHENOMENES OPTIQUES	331
LES PETITS TOURBILLONS ET LA NATURE ONDULATOIRE DE LA LUMIERE	333
REFLEXION, REFRACTION ET DIFFRACTION : LE ROLE DES TOURBILLONS	340
La réflexion	341
La réfraction	343
Inflexion (diffraction)	346
DISPERSION DE LA LUMIERE BLANCHE	349
CONCLUSION	353
PHENOMENES MAGNETIQUES	356
LA CRITIQUE D'EXPLICATIONS MECANIQUES	356
DE REAUMUR A MOLIERES : LES BASES D'UNE EXPLICATION DU MAGNETISME	
FONDEE SUR LES PETITS TOURBILLONS	359
BERAUD ET LA DENSITE DES PETITS TOURBILLONS MAGNETIQUES	365
La matière et les corps magnétiques	365
Mécanismes des phénomènes magnétiques	367
KERANFLECH, LA « VERTU MAGNETIQUE » COMME UN ORDRE PARTICULIER DE TOURBILLONS	369
CONCLUSION	372
PHENOMENES ELECTRIQUES	372
MOLIERES ET LES EXPERIENCES ELECTRIQUES DE DUFAY	373
BERAUD ET KERANFLECH : AUTOUR DE MOLIERES, NOLLET ET JALLABERT	376
Le mécanisme de Béraud	376
Le mécanisme de Keranflech	381
Jallabert et Nollet	383
CONCLUSION	386
LES ATMOSPHERES	387
FONTENELLE ET DORTOUS DE MAIRAN : ATMOSPHERES ET DIFFRACTION	389
LA COMPOSITION DES ATMOSPHERES	392
CONCLUSION : EQUILIBRE, DESEQUILIBRE, ATMOSPHERES ET COLLISIONS ELASTIQUES	395
METHODES ET PRINCIPES	395
MODELES MECANIQUES ET MATHEMATISATIONS	397
<i>Chapitre V : CRITIQUES DU SYSTEME DES PETITS TOURBILLONS</i>	399
INTRODUCTION	399
EQUILIBRE ET STABILITE DU SYSTEME DES TOURBILLONS	400
AUTOUR DES « PROPOSITIONS GENERALES » DE SIGORGNE	400
L'impossible équilibre du système	401
Frottements et circulations des petits tourbillons	403
La dissipation des tourbillons	406
LA CRITIQUE DES LEÇONS II, III ET IV	406
Des forces centrales à l'équilibre des couches	407
Le « tourbillon composé »	412
CRITIQUES DE LA MATIERE	416
LA MATIERE ORIGINELLE	416
LES CORPS « DURS »	419
Sur la formation des corps	419
La dureté	421
LE DEBAT MOLIERES-NOLLET : LA CRITIQUE EXPERIMENTALE	423
CRITIQUES DU SYSTEME DES PETITS TOURBILLONS ET DES SYSTEMES	429
LES PETITS TOURBILLONS DANS L'ENCYCLOPEDIE ET LA CRITIQUE DES SYSTEMES	429
EXPERIENCES ET SYSTEMES CHEZ NOLLET	435
CONCLUSION	440
CONCLUSION GENERALE	443

INERTIE ET OCCASIONALISME	443
LES PETITS TOURBILLONS	444
Réformer les systèmes de Descartes et des « Cartésiens »	444
Matière subtile et phénomènes physico-chimiques	446
SYSTEME ET « CARTESIANISME MODERNE »	448
Causes et principes mécaniques	448
Ancien et nouveau « Cartésianismes »	450
BIBLIOGRAPHIE	455
<i>Sources primaires</i>	455
<i>Sources secondaires</i>	462
INDEX DES PERSONNES	469
TABLE DES ILLUSTRATIONS	479

