



HAL
open science

Autour de Descartes et Newton Le paysage scientifique lyonnais dans le premier XVIII e siècle

Pierre Crepel, Christophe Schmit

► **To cite this version:**

Pierre Crepel, Christophe Schmit. Autour de Descartes et Newton Le paysage scientifique lyonnais dans le premier XVIII e siècle. 2017, 978-2-7056-9417-3. halshs-02881393

HAL Id: halshs-02881393

<https://shs.hal.science/halshs-02881393>

Submitted on 22 Jul 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.

Pierre Crépel, Christophe Schmit

Autour de Descartes et Newton

**Le paysage scientifique lyonnais dans le premier
XVIII^e siècle**

Sous la direction de
Pierre Crépel et Christophe Schmit

Autour de Descartes et Newton

**Le paysage scientifique lyonnais dans le premier
XVIII^e siècle**

Préface de Denis Reynaud

Avant-propos

Ce livre a pour origine un colloque intitulé « Descartes et Newton à Lyon au XVIII^e siècle » qui s'est tenu le 15 octobre 2015 dans le Grand salon de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Lyon, colloque co-organisé par cette Académie et par le laboratoire S2HEP (Sciences, Société, Historicité, Education et Pratiques) de l'université Claude Bernard Lyon 1. Les interventions examinaient les formes prises par les réflexions et les débats de l'époque autour du « cartésianisme » et du « newtonianisme » au sein des deux académies lyonnaises du premier XVIII^e siècle, celle des Sciences et Belles-Lettres et celle des Beaux-Arts.

Ces communications composent six des sept chapitres de notre ouvrage qui ne se présente donc pas seulement comme les actes d'un colloque. Par ailleurs, le lecteur trouvera ici des analyses et des documents supplémentaires, notamment une introduction et des annexes, et il trouvera aussi des chapitres qui se complètent en dessinant les formes d'un savoir aux contours multiples. Ces recherches s'appuient essentiellement sur des archives conservées dans le riche fonds de l'Académie de Lyon. Elles dressent un panorama des travaux et des questionnements de « cartésiens » et de « newtoniens » au sein des deux institutions lyonnaises, tout en invitant à s'interroger sur le bien-fondé de ces deux termes et tout en proposant des études de cas et des conclusions ayant une portée plus générale.

Nous remercions l'Académie de Lyon et sa présidente en 2015, Marguerite Yon-Calvet, pour le déroulement de cette rencontre du 15 octobre. Nous adressons nos plus chaleureux remerciements aux deux présidents de séance de cette journée, Nicole Dockès-Lallement et le regretté Michel Le Guern, décédé le 15 juin 2016, qui par son érudition pascalienne et son savoir sur le XVII^e a introduit les exposés. Nous remercions Denis Reynaud, préfacier de ce livre, et Samy Ben Messaoud pour nous avoir fait partager leurs connaissances sur la vie intellectuelle lyonnaise au XVIII^e siècle et pour avoir contribué à l'amélioration de divers passages de notre ouvrage.

Nous remercions Edward Halley Barnet, Yannis Hausberg et Bénédicte Hertz pour leurs relectures de l'introduction et leurs conseils.

Le colloque et la publication ont bénéficié de l'aide de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Lyon, du S2HEP de l'université Claude Bernard Lyon 1, et du laboratoire SYRTE (Systèmes de Référence Temps-Espace, UMR 8630 du CNRS) de l'Observatoire de Paris.

Nous dédions ce livre à Michel Le Guern.

Préface

Le plein, le vide et l'académicien lyonnais

Le titre de ce livre ne doit pas tromper le lecteur : Descartes ne fit qu'une brève étape entre Saône et Rhône à son retour d'Italie en mai-juin 1625, et Newton ne s'est jamais aventuré à plus de cent miles de son Lincolnshire natal. Mais l'un et l'autre furent bien présents à Lyon pendant la première moitié du XVIII^e siècle, au cœur des débats qui animèrent les deux académies de la ville.

On connaît le célèbre début de la quatorzième lettre philosophique, où Voltaire feint de renvoyer dos à dos Descartes, dont les doctrines avaient fini par supplanter celles d'Aristote comme philosophie officielle de l'université française, et Newton, qui venait de mourir, comblé d'honneurs.

Un François qui arrive à Londres, trouve les choses bien changées en Philosophie comme dans tout le reste ; il a laissé le monde plein, il le trouve vuide. À Paris on voit l'Univers composé de tourbillons, de matiere subtile ; à Londres, on ne voit rien de cela. [...]

Chez vos Cartesiens, tout se fait par une impulsion qu'on ne comprend gueres : chez M. Newton, c'est par une attraction dont on ne connoît pas mieux la cause ; à Paris, vous vous figurez la terre faite comme un melon, à Londres, elle est aplatie des deux côtez. La lumiere, pour un Cartesien, existe dans l'air, pour un Newtonien elle vient du Soleil en six minutes & demie (Voltaire, *Lettres philosophiques*, 1734, p. 118-119).

À lire la très riche introduction du présent livre, on comprend que cette opposition commode ne reflète guère la réalité géo-philosophique des forces en présence, que ce soit en 1734, date de la publication des *Lettres philosophiques*, avant ou après.

L'étude pionnière de Pierre Brunet sur l'introduction des théories de Newton en France (1931) et celles plus récentes de l'Anglais Eric J. Aiton, des Américains Henry Guerlac et John Bennett Shank ou de l'Italien Carlo Borghero ont en commun de contester une vision binaire qui dresserait des « cartésiens », forcément rétrogrades, contre des « newtoniens », nécessairement éclairés. Leurs analyses, souvent fort contradictoires, invitent également à se méfier des chronologies déterminant des points de basculement nets et définitifs. En effet, l'histoire des rapports entre cartésianisme et newtonisme est faite d'infiltrations discrètes et de rejets ostentatoires, d'assimilations précoces et de réactions à retardement, de conciliations partielles et d'aggiornamenti incertains.

Qu'en était-il à Lyon, où, dans les années 1730 et 1740 qui nous intéressent, deux académies concurrentes débattaient hebdomadairement de questions littéraires et scientifiques ?

C'est pour répondre à cette question que, le jeudi 15 octobre 2015 – soit 300 ans après la mort de Bernard Lamy et, presque jour pour jour, celle de Nicolas Malebranche –, des chercheurs venus de divers horizons se sont réunis dans le grand salon de l'Académie des Sciences Belles-Lettres et Arts de Lyon. Les savants exposés, dont on trouvera le texte ci-après, furent complétés par les interventions ponctuelles des académiciens et des amateurs avertis qui composaient l'assistance, tels Michel Le Guern qui parla de Pascal et de Francisque Bouillier, ou Samy Ben Messaoud qui évoqua Jacques Perneti.

On s'est principalement attaché à sept figures intellectuelles lyonnaises, dont la plupart ont été membres titulaires ou associés de l'académie des Sciences et Belles Lettres ou de celle des Beaux-Arts, et qui presque toutes ont étudié ou enseigné dans le collège jésuite de la ville : Philippe Villemot (1651-1713) dont le *Nouveau système* fut, en 1707, une des premières réponses cartésiennes à Newton ; Claude Rabuel (1669-1728), dont le *Commentaire* est un effort profus et tardif (1730) pour expliquer les omissions de la *Géométrie* de Descartes ; Henri Marchand dit le P. Grégoire (1674-1750), cartésien élève de Villemot ; Louis Antoine Lozeran du Fesc (1697-1755), partisan du mécanisme cartésien réformé ; Laurent Béraud (1702-1777), newtonien pour les

mouvements du ciel, critique du livre de la *Théorie des tourbillons* de Fontenelle, mais malebranchiste pour les phénomènes terrestres ; Charles Pierre Xavier Tolomas (1706-1762), traducteur de *A View of Sir Isaac Newton's Philosophy* de Henry Pemberton ; et enfin Jacques Mathon de La Cour (1712-1777) qui, à travers ses interventions à l'Académie des Beaux-Arts, donne sa préférence à l'astronomie et à la mécanique newtoniennes.

Outre ces études détaillées, ce livre permet de croiser les itinéraires intellectuels d'une douzaine d'académiciens lyonnais : Charles Cheynet (1668-1762), Étienne Lombard (1670-1753 ; malebranchien anti-cartésien), Dominique Ponsainpierre du Perron (1685-1755), Guillaume Rey (1687-1756) ; Louis Bertrand Castel (1688-1757), Jean-Baptiste Duclos (1695-1743), Laurent Béraud (1702-1777), Thomas Le Seur (1703-1770), Jean Ignace Cayer (1704-1754), Jean Claude Ignace Morand (1707-1780), François Jacquier (1711-1788).

Le panorama est trop riche pour qu'on le résume ici, mais il invite à trois conclusions d'ordre général.

Sans surprise, les deux académies sont globalement plutôt cartésiennes ; mais il y a des exceptions : quelques académiciens (tels Lombard, Castel ou Duclos) poursuivent une critique de Descartes ; tandis qu'une nouvelle génération s'ouvre aux méthodes newtoniennes (tels Tolomas, Mathon ou... Voltaire). Le verre lyonnais était à moitié plein et à moitié vide.

Le débat académique sur ces questions est dominé par les jésuites, mais ceux-ci ne parlent pas d'une seule voix. Confrontés à deux systèmes rivaux, ils s'inspirent de l'un ou de l'autre selon le domaine envisagé (mathématiques, optique, astronomie, philosophie). L'intégrisme n'est pas de mise.

Être cartésien n'empêche nullement de contribuer à répandre les théories de Newton ; ni d'admettre des associés qui diffusent celles-ci, tels les minimes Le Seur et Jacquier, dont le commentaire de la *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1739-1742) est considéré, quoique écrit en latin, comme le premier livre à avoir sérieusement vulgarisé la doctrine newtonienne et renversé celle des tourbillons cartésiens.

Si donc Lyon n'a pas été le fer de lance de la science nouvelle dans les années 1730 et 1740, ses deux académies ont en revanche promu la cohabitation tolérante et curieuse de théories ennemies ; sans censure. Tant il est vrai, comme le dira Robespierre dans un tout autre contexte, que la vérité « ne peut sortir que du combat de toutes les idées vraies ou fausses, absurdes ou raisonnables ».

Une vieille histoire met en scène un optimiste, un pessimiste et un ingénieur. « Ce verre est à moitié plein », se réjouit le premier. « Ce verre est à moitié vide », déplore le deuxième. « Ce verre est deux fois trop grand », suggère le troisième. Béraud, Mathon et leurs confrères sont de ce dernier parti, adaptant les systèmes à l'exacte mesure des circonstances et de leurs besoins.

Denis Reynaud

Introduction

1. Le paysage lyonnais

Au XVIII^e siècle, Lyon n'a ni université ni parlement. Pour prendre ses degrés, un étudiant en médecine doit aller à Paris ou à Montpellier. Quant aux affaires juridiques, elles sont du ressort du parlement de Paris. Ce paradoxe pour la deuxième ville de France ne doit pas nous conduire à croire que la vie savante, l'éducation et la réflexion sur la société y soient amorphes et uniquement subordonnées à celles de la capitale. Deux pôles se détachent, le collège des jésuites et les académies, ils sont d'ailleurs très liés entre eux pour ce qui nous concerne ici.

Le pouvoir politique et économique est partagé entre diverses institutions, en partie rivales. Le pouvoir royal est représenté par l'intendant de la généralité, c'est-à-dire des trois provinces du Lyonnais, du Beaujolais et du Forez, territoire relativement peu étendu et qui correspond à ce qui est devenu le département Rhône-et-Loire (lui-même redécoupé en deux après la guerre civile lyonnaise de 1793). Il y a aussi le gouverneur, poste occupé pendant tout le XVIII^e siècle par la famille Neufville de Villeroy¹ ; même si son rôle dans la vie quotidienne est assez restreint, il n'en a pas moins une influence certaine. La ville de Lyon a aussi un Consulat (équivalent du conseil municipal), dirigé par un prévôt des marchands (maire), assisté de quelques échevins (adjoints). Une autre institution détient un pouvoir considérable, c'est l'Église, avec à sa tête l'archevêque, mais aussi de nombreux ordres religieux, dont les jésuites ; l'influence janséniste est ici plutôt faible. Lyon dépend du parlement de Paris, ce que la ville considère comme plutôt humiliant, alors que Dijon ou Grenoble ont des parlements célèbres. Cela donne (en consolation, pourrait-on dire) un pouvoir accru à la Cour des monnaies, Présidial et Sénéchaussée². Inutile de dire que ces divers échelons sont souvent en conflit larvé ou ouvert, mais rassurons-nous ceux-ci ne portent pas explicitement sur Descartes et Newton³.

Au XVIII^e siècle, l'agriculture est partout la principale activité, elle est variée dans cette région de plaines et de montagnes, proche des étangs de la Dombes. Procéder à un inventaire des ressources naturelles du sol, mais aussi du sous-sol, est un besoin de plus en plus ressenti, ce qu'on voit monter très explicitement dans le travail des académies, du moins à partir de 1740 environ. Un peu plus tard, en 1761 est créée une Société royale d'agriculture, dans le cadre d'un mouvement national à l'instigation notable de Henri Léonard Bertin, contrôleur général des finances depuis 1759 et auparavant intendant de Lyon⁴. La deuxième ville de France voit aussi la création en 1761 de la première école vétérinaire d'Europe par Bourgelat, également à l'instigation de son ami Bertin. L'abbé Rozier succède en 1764 à Bourgelat, parti fonder près de Paris l'école d'Alfort⁵.

Lyon, avec sa région, est également une ville d'industrie et de commerce. C'est bien sûr la capitale de la soie, filière qui va de la culture du mûrier et du ver à soie, jusqu'au tissage, à la teinture, à l'habillement. Il suffit de regarder la carte pour comprendre que c'est un carrefour fondamental pour les transports et le commerce, avec l'Italie, mais aussi selon l'axe nord-sud. Bien que Lyon n'ait pas de faculté de médecine, l'activité médicale et hospitalière y est florissante, en particulier avec l'Hôtel-Dieu et l'Hôpital de la Charité, sur les bords du Rhône, dans la presqu'île. Le Collège de médecine y joue un rôle important pour la formation, laquelle ne se réduit pas à une faculté lointaine.

¹ Sauf mention du contraire, toutes les informations biographiques sur des membres des académies de Lyon sont tirées du *Dictionnaire historique des académiciens de Lyon (1700-2016)*, sous la direction de Dominique Saint-Pierre. Les membres de la famille des Villeroy y ont leurs notices.

² Voir Paillard, *La Cour des monnaies*.

³ Voir Garden, *Lyon et les Lyonnais au XVIII^e siècle* ; Trénard, *Lyon de l'Encyclopédie au préromantisme*.

⁴ Sainsot, *Catalogue des manuscrits de la Société d'agriculture de Lyon*.

⁵ Notice « Rozier François (1734-1793) », par Jack Bost et Claude Jean-Blain, dans *Dictionnaire historique de la ville de Lyon*, p. 1182-1185.

Le Tout Lyon, pour employer une expression anachronique, est répertorié dans un Almanach⁶ à partir de 1711. Son titre change, son contenu aussi assez souvent. Jusqu'en 1741, les collèges et académies n'y sont même pas mentionnés. Il prend une tout autre envergure intellectuelle à partir de 1742. L'abbé Cayer y commence même un cours d'astronomie en avant-propos du calendrier, qui existait déjà, pour des raisons pratiques, bien avant⁷. Le Collège de la Trinité, l'Académie des beaux-arts, puis l'Académie des sciences et belles-lettres (dont nous allons parler ci-dessous) y ont maintenant droit à une rubrique, avec les noms et adresses des intéressés.

1.1 Le collège de la Trinité

Le principal établissement d'enseignement à Lyon est le collège de la Trinité, tenu par les jésuites, depuis le XVI^e siècle. La province de Lyon, pour les jésuites, comprend Aix, Avignon, Dôle et Lyon où se trouvent des collèges importants⁸. Ce collège a été étudié par de nombreux auteurs, auxquels nous renvoyons. Il possède une bibliothèque, un observatoire (construit au début XVIII^e siècle sous la direction de Jean de Saint-Bonnet, admirateur de Descartes, mort en 1702), un cabinet de curiosité et de médailles.

L'enseignement scientifique y est important. Parmi les professeurs célèbres, citons à la fin du XVII^e siècle, le P. Honoré Fabri (1607-1688), le P. Paul Hoste (1652-1700) et, un peu plus tard, notamment pour l'enseignement des mathématiques et de l'astronomie : Claude Rabuel, Jean de Saint-Bonnet, Jean Brun, Pierre Taillandier, Jacques Fulchiron, Jean-Baptiste Duclos, Laurent Béraud, que nous allons retrouver plus loin dans cet ouvrage⁹. La plupart des notables lyonnais passent par ce collège. Les relations entre les professeurs et les grands enjeux de la ville ne se réduisent pas aux leçons de sciences en elles-mêmes. Comme l'écrit S. Van Damme pour la période antérieure à 1730, « les jésuites vont se présenter comme un corps d'experts auprès des corps de ville, capables par leur maîtrise de l'écrit et des sciences, de donner un contenu, une solidité et une unité à la fonction culturelle des cités où ils sont implantés »¹⁰. Dans le premier tiers du siècle, deux personnalités jésuites qui, comme nous le verrons par la suite, appartiennent aussi à l'Académie des sciences et des belles-lettres, ressortent, ce sont les P. Lombard et de Colonia. Ensuite, ce seront plutôt des scientifiques qui feront le pont entre le collège et l'autre académie, celle des beaux-arts.

Les chaires scientifiques et philosophiques ne sont publiées dans les almanachs de la ville de Lyon qu'à partir de 1742. On y note cette année-là quatre professeurs de théologie (scolastique - deux, positive, morale) et pour ce qui nous concerne le plus ici :

-Laurent Beraud, Professeur des Mathématiques, Directeur de l'Observatoire & du Cabinet des Médailles

-Claude Guigues, Professeur de la Physique

-George Cochard, Professeur de la Logique

En principe, l'enseignement suit le *Ratio studiorum*¹¹, mais de fait il y a de la latitude et la personnalité des professeurs importe beaucoup. Malheureusement, les renseignements dont nous disposons sur les contenus, sur les thèses, sont assez sporadiques et il convient d'être prudent dans les jugements, notamment pour le sujet qui nous intéresse, des rapports entre les cartésiens et les newtoniens.

⁶ Cet Almanach a des titres variables suivant les années, on peut consulter la collection presque complète par le site le « Gazetier universel » (<http://gazetier-universel.gazettes18e.fr/>).

⁷ Voir plus bas la partie 4 de cette Introduction.

⁸ On notera que celui de Tournon, pourtant assez proche de Lyon, est dans la province de Toulouse.

⁹ Parmi les sources à consulter sur ces questions nous renvoyons aux ouvrages, cités en bibliographie, de Marion Bertin, Sommervogel, François de Dainville, Delattre, Demoment, Hamy, Van Damme, Guitton, Guillot etc.

¹⁰ Van Damme, *Le Temple de la Sagesse* (extrait de la 4^e de couverture).

¹¹ Voir *Ratio studiorum* (édition de 1997) p. 124-130 pour la philosophie et p. 132 pour les mathématiques. On verra aussi un peu plus loin le passage de l'introduction consacré à l'enseignement des mathématiques et de la physique. Les sources sont éparpillées, on peut en avoir une idée en consultant les ouvrages cités dans les deux notes précédentes.

1.2 Les deux académies de Lyon et leur fusion

Dans la première partie du XVIII^e siècle, il y a deux académies à Lyon, qui fusionnent à l'automne 1758 pour donner l'Académie des sciences, belles-lettres et arts (ASBLA) de Lyon, nom que porte toujours cette compagnie. Les littéraires, qui ont écrit des histoires de l'académie jusqu'au XX^e siècle, en particulier Jean-Baptiste Dumas (1839), ont cru ou fait croire que seule la première, l'Académie des sciences et belles-lettres (ASBL), fondée en 1700 était l'ancêtre de l'ASBLA et que l'autre, l'Académie des beaux-arts (ABA), n'en était qu'un petit affluent anecdotique. Nous allons voir que, pour les questions scientifiques et pour l'évolution des idées concernant le cartésianisme et le newtonianisme à Lyon, c'est le contraire.

L'Académie des sciences et belles-lettres

L'ASBL naît en 1700 à l'initiative de sept notables : Claude Brossette, Laurent Dugas, Camille Falconnet, le P. Thomas Fellon s.j., Louis de Puget, Jean de Saint-Bonnet et Antoine de Serre. Ses débuts sont assez informels et ne sont connus qu'indirectement, par des correspondances, des journaux personnels et des souvenirs. On dit que la première réunion, tenue chez l'un des protagonistes, aurait discuté de la démonstration de Descartes sur l'existence de Dieu¹². C'est seulement en janvier 1714 qu'elle commence à s'organiser sous la forme usuelle des académies bien constituées, notamment en tenant un registre des séances hebdomadaires. Ce registre est conservé dans la bibliothèque de l'Académie¹³ et complet, à quelques lacunes près dans les années 1720-1723 ; les manques peuvent être comblés grâce à une compilation effectuée au XVIII^e siècle par Pernetti¹⁴. On possède donc les thèmes des mémoires lus et de quelques discussions, nous évoquerons plus loin ceux qui touchent à Descartes. Brossette est secrétaire de cette académie pendant près de quarante ans, jusqu'à ce que, fatigué, il passe la main à Fleurieu le 17 mars 1738.

Petit à petit, le nombre de membres croît et est fixé à 25, il n'y a pas de « classes » (lettres et sciences), on y aborde toutes sortes de sujets, mais essentiellement des questions littéraires, philosophiques, archéologiques, etc. Les rares aspects scientifiques sont traités de façon très générale. Les académiciens sont évidemment tous des notables, en particulier des conseillers à la Cour des monnaies, mais il y a aussi des jésuites et d'autres ecclésiastiques.

L'Académie des beaux-arts

L'ABA naît en 1713, à l'initiative d'un autre groupe de notables amateurs de musique, menés par Jean-Pierre Christin (1683-1755) et Nicolas-Antoine Bergiron du Fort-Michon (1690-1768). Il s'agit d'abord de l'organisation de concerts et probablement, au début, de quelques conférences autour de la musique. L'ASBL et l'ABA reçoivent des lettres patentes communes en 1724, c'est-à-dire une reconnaissance royale. Dans la foulée, est décidée l'érection d'un bâtiment du concert, place des Cordeliers, qui voit le jour dès 1727 et abritera tant les concerts que les séances et la bibliothèque. Nous n'avons que des renseignements sporadiques sur les conférences périphériques aux concerts¹⁵.

Le 12 avril 1736, la situation se clarifie et se formalise. L'ABA se divise de fait en deux sociétés liées entre elles, la « société du concert » ou « Concert » (qui continue ses concerts hebdomadaires) et la « société des conférences », qui est en réalité une académie des sciences. Celle-ci, conduite par Christin, tient des registres très précis et se donne des règlements le 21 février 1737 (12 articles) et le 20 janvier 1738 (les mêmes 12 + les art. 13-33). Elle doit définir ses

¹² Ms 119, f. 154-165 : mémoire de Dugas, voir aussi un résumé par Delandine, *Manuscrits de la bibliothèque de Lyon*, t. 3, p. 424.

¹³ Dans toute la suite, lorsque nous évoquons une séance avec sa date, la source est, sauf mention du contraire, le registre de l'académie correspondante à cette date-là.

¹⁴ Ms 301.

¹⁵ Pour la « société du concert », voir Vallas, *La Musique à l'Académie de Lyon* et Hertz, *Le Grand Motet* notamment pour une étude du fonds musical de l'époque conservé à la Bibliothèque Municipale de Lyon.

sujets de travail et se garder d'empiéter sur les prérogatives de l'autre académie, qui est visiblement jalouse.

Lors de l'assemblée générale extraordinaire du jeudi 21 février 1737, Christin rappelle qu'il avait présenté en avril de l'année précédente

un memoire dans lequel il avoit exposé le dessein des Academiciens qui se proposoient de tenir plus regulierement les Assemblées pour les Conférences en execution des lettres patentes, et des Reglements de l'Academie avec un projet des matieres que l'on y pourroit traiter, différentes de celles qui font l'objet de l'Academie des sciences et des Belles lettres, dont les sceances se tiennent dans une des sales de l'hotel de ville¹⁶.

Dans le règlement qui en sort, on lit à l'art. 10 :

A l'égard des matieres qui seront traités dans les conférences comme les lettres patentes accordées par le Roy aux deux academies leur sont communes et qu'il y est porté qu'elles auront leurs matieres et leurs fonctions différentes, l'academie ayant considéré que les belles lettres font partie des Beaux Arts, dememe que les sciences sont absolument necessaires pour la connoissance de plusieurs parties des Beaux Arts, et que si elle traittoit dans ses conférences des Belles lettres, et de certaines sciences, ce seroit icy faire une confusion des matieres avec celles qui sont l'objet de l'academie dont les sceances se tiennent à l'hotel de ville; que cette confusion seroit contraire à l'Esprit des lettres patentes, à l'interêt du public, et à celui des deux academies; Elle à deliberé de ne pas traiter des sciences de pure speculation, ny des Belles lettres, et quelle fera le sujet de ses conférences des autres parties de Beaux Arts, et des sciences necessaires pour leur intelligence, telles que sont la Geometrie, la Mechanique, l'Astronomie pratique, l'optique, la Phisique experimentale, l'Anatomie, la Botanique, la Chimie, la Musique, l'Architecture, la Peinture, la sculpture, et les parties qui en dependent. (p. 32)

En fait, cette académie traite de toutes les sciences et de tous les arts. Si Christin en est l'animateur principal, il n'est pas le seul actif et l'académie développe une vie collective intense. Guillaume Marie Delorme (1700-1782) est nommé adjoint de Christin le 10 mars 1738. Il y a progressivement dissociation du concert et des conférences, ce qui est officialisé le 1^{er} juin 1748. L'ABA prend le nom de Société royale le 24 juillet 1748. Mais les nouvelles lettres patentes ne sont pas enregistrées et la situation administrative s'enlise, même si l'activité est florissante.

Pour mieux comprendre les objectifs et les sujets de travail de l'ABA, il n'y a rien de mieux que de présenter ses 12 membres fondateurs. L'« Extrait du Regître des Reglemens et deliberations de l'Academie des Beaux Arts. Du Jeudy 21^e fevrier 1737 » « confirme dans la qualité d'Academiciens ordinaires des conférences les dix neuf dont les noms par ordre d'ancienneté sont » : Christin, Bollioud-Mermet, Grollier de Servieres, De Ruolz, Besson, Joannon, Chenet (ou Cheinet, Cheynet), Mathon de la Cour, Delorme, Borde, Moyroud, Delamonce et (élus à partir du 12 avril 1736, dont on a donc les dates d'élection dans le registre) Duclos, Morand, Dugaiby, Grégoire, Cayer, Parisot, Guillaumat.

La plupart d'entre eux ont des centres d'intérêt divers pour ne pas dire éclectiques, mais on ne peut pas dire que la philosophie soit centrale parmi ces préoccupations. Jean-Pierre Christin, bourgeois de Lyon, se consacre à la musique, à la physique et à l'organisation de son académie. Bollioud-Mermet (1709-1794) est d'abord musicien et organiste, adversaire des théories de Rameau. Gaspard Grollier de Servieres (1677-1745), haut personnage de la province, devient très célèbre par son rare cabinet de curiosités, c'est un savant assez universel comme d'autres membres de sa famille. Charles Joseph De Ruolz (1708-1756), un seigneur, travaille plutôt sur la métallurgie, la mécanique, l'histoire naturelle et divers sujets plus littéraires. Jean Jacques Besson (1711-1755) est « géomètre du Roy » et s'occupe en outre de toutes sortes de sciences et d'arts. Laurent Joannon (1714-1783) s'intéresse à la musique, à l'harmonie, puis à l'histoire naturelle, aux arts et aux antiquités, il part voyager en 1742. Charles Cheynet (1668-1762) serait un des fondateurs de l'ASBL en 1700, il devient président de la Cour des Monnaies et peut intervenir sur

¹⁶ Voir Registres ABA 1736-1744, p. 31. L'ABA se réunit, quant à elle, dans son bâtiment, place des Cordeliers.

toutes sortes de sujets, y compris physiques, philosophiques ou religieux. Nous parlerons en détail de Jacques Mathon de la Cour (1712-1777) au Chapitre V, il s'intéresse plutôt aux mathématiques, aux machines, à l'harmonie et au langage. Guillaume Marie Delorme (1700-1782) est un remarquable architecte, jardinier et hydraulicien, il est aussi connu pour ses travaux d'archéologue, notamment à propos des aqueducs romains. Louis Borde (1700-1747), frère aîné de Charles Borde, peut être considéré comme un grand mécanicien et inventeur. Vital Moyroud (1708-1780) est mathématicien et mécanicien, mais disparaît très vite de la scène lyonnaise. Ferdinand Delamonce (1678-1753) est architecte, peintre et graveur. On voit bien que, d'ailleurs dans le cadre du *modus vivendi* entre les deux académies, ces savants sont davantage motivés par les sciences appliquées que par les théories spéculatives. En 1736, seuls Grollier (depuis 1718) et Cheynet (depuis 1704) sont aussi membres de l'ASBL. Bollioud-Mermet va le devenir en 1739 et Jacques Mathon de la Cour en 1740. Et l'ABA va s'adjoindre le président Dugas en 1739.

Les relations entre les deux académies

Dans un premier temps, les deux académies semblent s'être contentées d'un certain *modus vivendi* et, en tout cas, les différends sont tus ou n'apparaissent qu'en filigrane. La concurrence, masquée par la complémentarité, existe probablement plus qu'on ne le croit, mais, au moins dans les premiers temps, elle ne laisse pas de traces dans les documents officiels. En revanche, la correspondance entre le président Dugas (1670-1748) et Bottu de Saint Fonds (1675-1739) lève un petit coin du voile. Malheureusement, ce dernier meurt en 1739 et nos informations issues de cette source ne peuvent donc concerner que les débuts de la Société des conférences.

M. de Grollier a été élu directeur de l'académie des Beaux-arts, mais il ne voulut point accepter cette place sans me consulter et me demander si cela déplairait à l'académie [lire « des sciences et belles-lettres »] et si moi, en particulier, j'y trouvais quelque chose à dire. Je lui répondis que je ne croyais pas qu'il y eût aucun inconvénient et qu'il ne s'agissait que de bien fixer les limites entre les deux académies; que personne n'était plus propre que lui qui était de l'une et de l'autre, à les concilier toutes deux. Il a suivi mon conseil et a accepté. Mon avis est qu'ils ne doivent traiter des sciences que par rapport aux arts et non en ce qui regarde la simple spéculation, du moins en public s'ils veulent avoir des assemblées publiques.¹⁷

L'académie des Beaux-arts est donc établie à Lyon, dans toutes les formes, puisqu'elle tient des assemblées publiques. Elle fait plus, elle se fait imprimer, car j'ai lu dans un des derniers Mémoires de Trévoux, le discours de M. de Grollier. Si l'aînée n'y prend garde, la cadette fera plus de bruit qu'elle et peut-être avec plus de fondement.¹⁸

C'est surtout dans les années cinquante, quand l'enregistrement des lettres-patentes de la Société royale semble bloqué qu'apparaissent au grand jour les relations conflictuelles entre les deux académies et qu'est évoquée l'éventualité d'une fusion, sans doute appuyée par l'intendant La Michodière et d'autres personnalités locales. Les partisans et les adversaires de la fusion débattent (Ms 264). Il est peu probable que cela ait quelque rapport avec des positions philosophiques ou scientifiques relatives à Descartes et Newton. Diverses initiatives y sont liées sans qu'on sache toujours exactement de quelle façon. Par exemple, le président Dugas, membre des deux sociétés, se propose de rédiger une histoire de l'ASBL¹⁹ en 1742. Perneti, également membre des deux compagnies depuis 1749, prononce le 16 mai 1755 de courts éloges des

¹⁷ Lettre de Dugas à Bottu, 21 janvier 1737, dans Poidebard, p. 264.

¹⁸ Lettre de Bottu de Saint Fonds à Dugas, 11 octobre 1738, dans Poidebard, *Correspondance littéraire et anecdotique entre Monsieur de Saint Fonds et le Président Dugas*, p. 312. Les *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, appelés aussi le *Journal de Trévoux* ou encore *Mémoires de Trévoux* (nous recourrons dans notre étude indifféremment à ces appellations), vont donner des extraits de nombreuses séances publiques à partir de ce moment-là. L'Académie en tant que telle commencera à faire imprimer des comptes rendus en 1806, puis des volumes annuels de Mémoires en 1845. La question de l'impression des mémoires est évoquée depuis le milieu du XVIII^e siècle, mais toujours repoussée.

¹⁹ Ms 119, f. 154-165 et Registres.

membres de l'Académie des beaux-arts²⁰ et il réalise une sorte d'histoire de l'ASBL avant la fusion²¹, tout cela donnera l'ouvrage *Les Lyonnais dignes de mémoire* en 1757. Au moment de la fusion, il existe 7 membres communs, Fleurieu, Lacroix, Bollioud, Mathon, Perneti, Greppo et Deville. L'ASBL comporte 25 membres sans distinction de classe, la Société royale 30, répartis avec précision entre mathématiques (lire aussi mécanique et astronomie), physique (lire toutes les autres sciences) et arts (lire beaux-arts et techniques). En faisant passer vétérans ceux qui sont trop âgés, et associés ceux qui sont partis de Lyon, l'académie réunie, à laquelle on donne le nom d'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Lyon (ASBLA) va comporter 40 membres ordinaires, sans licenciement.

La fusion de 1758

Les académiciens sont répartis en deux classes, sans distinction officielle à l'intérieur de chacune. Elle se réunit deux fois par semaine, le mardi et le jeudi, à partir du 5 novembre 1758 à l'Hôtel-de-Ville. Fleurieu en est directeur pour la fin de l'année 1758 et pour le premier semestre 1759. Le directorat devient semestriel. À partir du début 1765, à la demande du consulat, qui prétend avoir besoin d'une salle supplémentaire le jeudi, les réunions deviennent hebdomadaires. On y aborde évidemment des questions très diverses, mais souvent plus concrètes que les débats sur les systèmes. Et, s'il renaît un mémoire ou ouvrage d'inspiration dite cartésienne, il s'agira plutôt de ce qu'on appelle une intervention de cartésien attardé qui recherche les « causes » de certains phénomènes. Il ne faut pas s'en moquer, parce que c'est, somme toute, une démarche naturelle pour un scientifique.

Commissions et tributs des académiciens

Dans tous les cas, chaque académicien a l'obligation de lire chaque année un mémoire sur un sujet différent, on appelle cela son « tribut ». Les registres nous en donnent les titres et souvent un résumé d'une page ou deux. À l'ABA, par décision du 25 juillet 1736, ces mémoires doivent être déposés au secrétaire, qui les numérote et les conserve dans le « portefeuille » de l'année. Ces écrits seront ultérieurement classés par divers bibliothécaires et ils sont parvenus jusqu'à nous. En revanche, cette pratique n'a pas lieu à l'ASBL et en général la dissertation originale manque. À la fusion des deux académies en 1758, la pratique de la conservation des mémoires écrits perdure. Nous avons ainsi beaucoup de textes de la plupart des académiciens, ce qui nous permet de suivre chronologiquement leurs préoccupations.

Bien entendu, le rythme de travail d'un académicien ne suit pas nécessairement une mécanique annuelle, il peut traiter d'autres sujets et rédiger d'autres mémoires qu'il publie ou ne publie pas, il peut au contraire se révéler moins actif dans ses activités intellectuelles et se contenter d'exposés peu originaux. D'autre part, de nombreux membres, alors appelés « commissaires », sont chargés de rapports sur des travaux d'autrui ou de tâches périodiques, comme la direction à tour de rôle, annuelle ou semestrielle. Ils peuvent aussi, sans lire vraiment une dissertation, intervenir de façon plus informelle en séance, notamment pour signaler une invention ou un ouvrage d'intérêt²². Pour certains académiciens, comme Mathon de la Cour (voir chapitre V) ou Valernod, ces activités sont très nombreuses et prenantes.

La partie 4 de cette Introduction s'attache aux prises de positions d'académiciens lyonnais par rapport aux « Cartésiens » et aux « Newtoniens » et aux débats qui parfois opposent ceux-ci au XVIII^e siècle. Auparavant, nous donnons quelques éléments contextuels et historiographiques sur ces débats (partie 2) et cherchons à définir ces deux grandes « familles » en s'intéressant aux sens

²⁰ Ces notices sont rassemblées, avec les éloges prononcés par Christin, puis par d'autres académiciens, au sein du Ms 124.

²¹ Ms 301.

²² Pour une vision claire et assez complète du fonctionnement des académies, voir David, *Trois siècles d'histoire lyonnaise* et Saint-Pierre, *Dictionnaire historique*.

que donnent des savants de l'époque (partie 3).

2. *Recherches historiographiques*

Le corpus examiné

La synthèse et l'analyse d'études consacrées aux relations entretenues entre le « cartésianisme » et le « newtonianisme » en France dans le premier XVIII^e siècle permettent de donner des éléments du contexte historique dans lequel insérer les travaux de savants lyonnais, et la confrontation d'un certain nombre de thèses véhiculées dans l'historiographie, parfois contradictoires, de fixer un cadre aux réflexions de ce livre. Nous nous intéresserons, en particulier, à un *corpus* relatant l'histoire de cette thématique sur plus d'un demi-siècle, période qui correspond à celle d'activité de l'ABA et l'ABSL, et à un *corpus* lié à l'histoire de l'enseignement, la précédente partie de cette Introduction ayant évoqué les liens unissant des académiciens lyonnais au collège de la Trinité.

Dans un premier temps, nous examinerons des ouvrages consacrés à l'introduction de la science « newtonienne », ouvrages allant de *L'Introduction des théories de Newton en France au XVIII^e siècle* de Pierre Brunet en 1931 jusqu'aux livres de John Bennett Shank (*The Newton Wars and the Beginning of the French Enlightenment*, publié en 2008) et de Carlo Borghero (*Les cartésiens face à Newton*, 2011), en passant par les publications de Eric J. Aiton (*The Vortex Theory of Planetary Motions*, 1972) et de Henry Guerlac (*Newton on the Continent*, 1981). Les sources de ce *corpus* consistent essentiellement en des publications sous la forme de traités, de mémoires académiques ou encore d'articles de journaux. En complément, et dans un deuxième temps, nous proposons une synthèse d'études consacrées au contenu des enseignements de l'époque.

Ces choix historiographiques, s'ils n'ont rien d'exhaustifs, nous semblent cependant refléter les thèses essentielles écrites depuis l'entre-deux guerres concernant les rapports entre le « cartésianisme » et le « newtonianisme » et les différentes modalités d'adoption des théories de Newton, rapports qui suivent différents régimes selon les historiens – conflits, « paix », cheminements communs – et qui sont essentiellement examinés à travers les prismes des tensions existantes entre une physique du plein et de l'impulsion et une autre du vide et de l'attraction, et entre une science de type causal et une autre de type légal s'attachant aux phénomènes et aux seules relations mathématiques qu'ils entretiennent.

Les tourbillons de Descartes et les critiques de Newton

Puisqu'il sera question à de nombreuses reprises des caractéristiques du système du monde de Descartes et des critiques qu'en fait Newton, donnons ici rapidement quelques éléments des uns et des autres avant de débiter notre recension. Dans ses *Principes de la philosophie* de 1644, Descartes conçoit l'étendue comme l'essence de la matière, ce qui implique qu'un univers vide de matière n'existe pas. À partir de ce plein et de la mise en mouvement de ses parties, le philosophe explique la formation de tourbillons de matière autour de centres – le soleil, les étoiles – qui devraient notamment emporter les planètes dans leurs révolutions²³. L'univers cartésien se compose de trois éléments qui proviennent des chocs entre les parties d'une même matière originelle diversement divisée. Le premier élément est la matière la plus subtile, la plus agitée, et constitue le Soleil et les étoiles. Le deuxième correspond à des boules dures contiguës – composant le gros des tourbillons célestes – et sont à l'origine de la transmission de la lumière, laquelle provient de l'action du premier élément contre ces boules. Le troisième comprend des parties de matière dont la forme permet des assemblages, lesquels donnent naissance aux corps sensibles²⁴.

²³ Descartes, *Principes de la philosophie*, art. 4, p. 65, art. 16 p. 71-72 et art. 46 et 47 p. 124-126.

²⁴ *Ibid.*, notamment art. 52, p. 128-129.

Dans ses *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* de 1687, Newton développe plusieurs critiques à l'encontre de ces tourbillons l'incitant à rejeter ce mécanisme. Il montre qu'un fluide en rotation autour d'une sphère – en le supposant entraîné par la rotation de celle-ci – ne respecte pas la troisième loi de Kepler²⁵ et, par conséquent, sous l'hypothèse des tourbillons, les planètes emportées par ceux-ci ne suivent pas cette loi. Dans un autre passage, il établit que le système des tourbillons implique contradiction avec la deuxième loi de Kepler²⁶. Puis, dans le Scholie général de son livre, en supposant les astres emportés par ces tourbillons, Newton dénonce l'incompatibilité des deux lois de Kepler entre elles²⁷. En somme, le système de Descartes s'avère en contradiction avec les lois du mouvement des planètes tirées des observations astronomiques. Par ailleurs, Newton établit qu'une sphère de densité semblable au milieu qu'elle traverse, en supposant que la résistance de ce milieu ne provienne que de la quantité de matière qui le compose – autrement dit, la résistance est due seulement à la force d'inertie des corps – perd la moitié de sa vitesse en parcourant seulement une distance égale à trois fois son diamètre. Or, puisque la diminution de la résistance du milieu requiert de « diminuer la quantité de matière dans les espaces dans lesquels le corps se meut », et puisque les planètes et les comètes se meuvent « librement », sans « diminution sensible de leur mouvement », il suit que « les espaces célestes [...] doivent être vuides de tout fluide corporel »²⁸.

Ces critiques, et les réponses apportées pour maintenir le système des tourbillons, sont des aspects essentiels de l'histoire de l'introduction des théories de Newton sur le continent et des réactions qu'elles suscitent au XVIII^e siècle²⁹. En effet, à cette époque, des savants reconduisent les arguments de Newton pour réfuter l'usage des tourbillons en physique, tandis que d'autres rejettent ces critiques et s'efforcent d'y répondre en cherchant en particulier à modifier ou adapter les tourbillons. Cette histoire est notamment détaillée chez Brunet et Aiton dont les travaux sur les relations entre « cartésianisme » et « newtonianisme » donnent lieu à des périodisations précises. Dans un premier temps, nous rendons compte de ces périodisations qui, bien que critiquées et sans doute amendables³⁰, ont l'intérêt de fixer un cadre et des étapes entre autre par l'évocation d'ouvrages essentiels du XVIII^e siècle sur ce thème. Ensuite, nous examinons les thèses défendues par ces auteurs et Borghero concernant les rapports entretenus entre « cartésianisme » et « newtonianisme », puis celles de Guerlac et Shank. Nous terminons cette partie par une synthèse sur la réception du « cartésianisme » et du « newtonianisme » dans l'enseignement au cours du premier XVIII^e siècle.

2.1 Chronologies et périodisations : Brunet et Aiton

L'histoire de l'introduction des théories de Newton sur le continent donne lieu chez Brunet à un découpage chronologique regroupant cinq périodes qui correspondent à chacun des chapitres de son livre :

- I : Les premières influences et la résistance cartésienne (1700-1720)
- II : Les préliminaires du débat (1720-1728)
- III : L'effort des grands cartésiens (1728-1732)
- IV : Les premiers travaux newtoniens (1732-1734)
- V : La préparation des grandes controverses (1735-1737)

²⁵ Newton, *Principes mathématiques*, t. I, p. 416-424. Il s'agit de la loi reliant le temps de révolution d'une planète à sa distance du centre de révolution.

²⁶ *Ibid.*, t. I, p. 424-427.

²⁷ *Ibid.*, t. II, p. 174. Pour toutes ces critiques, voir notamment Brunet, *L'Introduction*, p. 2-7 ; Aiton, *The Vortex*, p. 110-113.

²⁸ Newton, *Principes mathématiques*, t. I, p. 354-357 et p. 392-393.

²⁹ Notons, comme la recension ci-dessous le montrera, que cette histoire de l'introduction de Newton sur le continent ne se résume pas uniquement à cette question de l'opposition aux tourbillons ou de leur maintien.

³⁰ Ainsi, comme nous le verrons, l'ouvrage de Shank les remet en cause.

Selon Brunet, Newton serait progressivement découvert en France entre 1700 et 1720, alors que la physique cartésienne s'affermirait dans le pays et que la grande majorité des savants, notamment à l'Académie royale des sciences, étaient cartésiens. Cela déclencherait une hostilité progressivement croissante qui se renforcerait dans les années 1720 en raison de la publication de nombreux textes faisant la part belle aux découvertes et théories newtoniennes qu'elles concernent l'astronomie ou l'optique³¹. À partir de 1727-28, et pour la décennie qui suit, on assisterait à une infiltration du newtonianisme, y compris chez les plus cartésiens, qui obligerait ces derniers à de grands efforts théoriques pour contrer Newton, et en même temps à devenir « mitigés » (Brunet, *L'Introduction*, p. 339).

Pour Brunet, l'éloge de Newton en 1727 par Bernard le Bovier de Fontenelle (1657-1757), secrétaire de l'Académie royale des sciences, contiendrait « la plupart des objections que les cartésiens allaient dès lors renouveler, prolonger, préciser et dresser, avec une violence croissante, contre les envahissements du newtonianisme » ; il s'agit en particulier de critiquer l'attraction newtonienne assimilée à une qualité occulte et de lui préférer le plein et la causalité par contact suivant le modèle des tourbillons (p. 149-152)³². Puis, les prix de l'Académie royale des sciences récompenseraient des mémoires d'obédience cartésienne (Georg Bernard Bilfinger en 1728, Jean (I) Bernoulli en 1730) (p. 153-157 ; p. 186-200)³³. Les travaux cartésiens se poursuivraient avec intensité au sein de l'institution avec les publications de mémoires de ses membres autour de 1730, Joseph Privat de Molières (1677-1742), Jean Jacques Dortous de Mairan (1678-1771), Jacques Cassini (1677-1756), concernant respectivement les tourbillons célestes et leur compatibilité avec les lois de Kepler et la loi en $\frac{1}{r^2}$, le mouvement diurne de la Terre et celui rétrograde des comètes dans le cadre du système des tourbillons : il s'agirait de défenses de ce système contre les critiques de Newton, et d'attaques contre ce dernier, Fontenelle jouant un rôle essentiel dans ses résumés de ces travaux pour la défense des cartésiens (p. 157-182)³⁴.

La période 1732-1734 serait marquée par des écrits de grands cartésiens qui utiliseraient « tout ce que le newtonianisme pouvait avoir, à leur point de vue, de solide et d'acceptable » (p. 245) mais sous différentes modalités. Ainsi, Privat de Molières intégrerait les travaux newtoniens dans le cadre d'un système tourbillonnaire (p. 240-262) ; le prix de l'Académie de Paris de 1734 remporté par Jean (I) Bernoulli (1667-1748) refléterait, malgré ses critiques contre l'attraction newtonienne, une « influence profonde du newtonianisme » qui n'aurait « pas seulement la valeur de quelques concessions », « l'esprit cartésien » subissant alors des « transformations » (p. 279-286)³⁵ ; quant à son fils Daniel Bernoulli (1700-1782) victorieux du même prix, « tout en évitant, autant que possible, de froisser les cartésiens par quelque réflexion qui eût pu être interprétée comme une critique déguisée, ou qui, à plus forte raison, eût été une véritable objection, [...]

³¹ Brunet, *L'Introduction*, p. 79-104 évoque la diffusion du livre de John Keill (*Introductio ad veram astronomiam*, 1718), la traduction française par Pierre Coste de l'*Opticks* de Newton (*Traité d'optique*, 1720) avec la préface de Coste insistant sur les expériences et les explications de Newton et le défendant contre les critiques assimilant la gravitation au retour des anciennes qualités occultes, la publication du livre de Willem Jacob 's Gravesande, *Physices elemnta mathematica, experimentis confirmata, sive introduction ad philosophiam newtoniam* (1720-1721) rejetant notamment les tourbillons cartésiens. Brunet (*L'Introduction*, p. 85) signale aussi la publication d'écrits newtoniens en France notamment du *Nouveau cours de chymie suivant les principes de Newton et de Stahl* de 1723 attribué à Sénac par le *Journal des Sçavans* (*ibid.*, p. 85-86, p. 121). Certaines de ces publications donnent lieu à des réactions critiques, ainsi celles du père jésuite Louis Bertrand Castel sur le livre de s'Gravesande dans les *Mémoires pour l'histoire des Sciences & des beaux Arts* ou *Journal de Trévoux* ironisant sur la notion d'attraction universelle considérée comme obscure et fausse. Les prix des Académie de Paris et Bordeaux des années 1720 remportés par Jean Pierre de Crousaz témoignent d'une inspiration cartésienne critique contre Newton, de même que le *Système du mouvement* (1721) d'Étienne Simon de Gamaches (1672-1756) nommé à l'Académie royale des sciences en 1732 (*ibid.*, p. 107-109).

³² Pour cet éloge, voir Fontenelle, *Eloge de M. Newton*, p. 151-172.

³³ Bilfinger, *De causa gravitatis physica generali disquisitio experimentalis*, 1728 ; Bernoulli, *Nouvelles pensées sur le Système de M. Descartes*, 1730. Ces prix portent respectivement sur les causes de la gravité et les causes des figures elliptiques des orbites des planètes et du mouvement de leur aphélie.

³⁴ Chaque volume annuel de l'*Histoire de l'Académie royale des sciences* de Paris contient des contributions de ses membres ainsi qu'une partie en donnant des résumés étendus rédigés par Fontenelle.

³⁵ Jean (I) Bernoulli, *Essay d'une Nouvelle Physique céleste*, PARS 1734 (1738), t. III. Ce prix et ce mémoire sont évoqués dans le chapitre IV de notre livre.

beaucoup plus nettement que son père, [il] se ralliait au newtonianisme » (p. 296)³⁶. Le *Discours sur les différentes figures des astres* de 1732 du membre de l'Académie des sciences Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759), livre qui est une défense de Newton et qui reprend notamment des critiques que ce dernier adresse à l'encontre des tourbillons, marquerait « un pas décisif vers le newtonianisme » (p. 204). Mais, bien que le newtonianisme accroisse sa prépondérance, « les cartésiens ne pouvaient pas si vite avouer l'insuffisance de leur système »³⁷. Ainsi, Jacques Cassini et Privat de Molières, à force d'« ingéniosité », donnaient des réponses aux critiques des newtoniens au sujet de la rotation diurne des planètes (Cassini), ou sur la possibilité d'expliquer conjointement par les tourbillons les deuxième et troisième lois de Kepler (Cassini et Privat de Molières). En particulier, dans ses *Leçons de physique* (1733-1739), Privat de Molières fonderait toutes ses explications physico-chimiques sur « le mécanisme cartésien », « la seule base solide de toutes les connaissances scientifiques » (p. 334). Pour Brunet, ces travaux ont reçu un accueil triomphal de Fontenelle qui voyait en eux la possibilité de montrer comment le système cartésien pouvait surmonter les critiques ; système par ailleurs fécond puisque à même d'expliquer les nouvelles découvertes concernant l'électricité et une grande diversité de phénomènes tels que ceux consignés dans les *Leçons de physique* (p. 299-341).

Dans quatre chapitres de son livre (VII à X), Aiton propose la périodisation suivante³⁸ :

- VII : 1700-1729 : The Cartesian Vortex Theory
- VIII : The Introduction of Newton's Theories in France
- IX : Attempts to Reconcile the Cartesian and Newtonian Theories : 1728-1734
- X : Last Days of the Vortex Theory

Le chapitre VIII, qui couvre une période allant des années 1710 au début des années 1740, traite uniquement de l'introduction des théories newtoniennes en France tandis que les trois autres, qui couvrent une semblable période, décrivent les évolutions des théories cartésiennes : Aiton, contrairement à Brunet, ne cherche pas outre mesure à mettre en valeur la confrontation et le conflit entre deux écoles.

Si Brunet soulignait pour les années 1720 l'importance de publications newtoniennes et une intensification de la résistance cartésienne, pour sa part Aiton regroupe en un même ensemble temporel les deux premiers chapitres de son aîné³⁹. Aiton donne des analyses détaillées et plus techniques que Brunet des études expérimentales et mathématiques des tourbillons entre 1700-1729⁴⁰.

Dans le chapitre VIII, Aiton insiste sur la différence de réception en France des deux ouvrages majeurs de Newton, les *Principia* et l'*Opticks* : le premier apparaîtrait comme un travail mathématique dépourvu de bases physiques, tandis que le deuxième pourrait être plus considéré comme un authentique texte de physique (Aiton, *The Vortex*, p. 194). On retrouve, comme chez Brunet, l'évocation du texte de s'Gravesande qui contribuerait à développer l'hostilité contre le newtonianisme en raison de son opposition affichée à Descartes et du cartésianisme. Aiton évoque aussi la polémique épistolaire entre les philosophes Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-

³⁶ D. Bernoulli, *Disquisitiones Physico-Astronomicae problematis*, PARS 1734 (1738), t. III.

³⁷ Selon Brunet (p. 299), même en supposant chez ces cartésiens aucun parti pris, « ils représentaient cette tendance générale de l'esprit humain, toujours porté à s'installer dans ses créations antérieures, devenues commodes par l'habitude, à s'insurger contre tout ce qui bouleverse une théorie à laquelle l'attachement traditionnel donne l'apparence d'une plus grande intelligibilité ».

³⁸ Ce livre ne porte pas exclusivement sur les tourbillons cartésiens et la confrontation avec la théorie de Newton, bien que cette question occupe la moitié de son étude ; nous ne nous attachons ici qu'aux chapitres en rapport direct avec notre objet d'étude.

³⁹ Comme souligné, le détail du conflit newtoniens-cartésiens en France n'est pas le point de focalisation principal d'Aiton, qui se concentre davantage le contenu théorique des textes.

⁴⁰ Notamment les travaux de Villemot, des académiciens parisiens Saulmon (?- 1724), de Mairan, Joseph Saurin (1655-1737), Nicolas Malebranche (1638-1715), le prix de Bilfinger de 1728. Voir Aiton, *The Vortex*, p. 152-193. Ces études portent sur des expériences sur les tourbillons cylindriques et sphériques, sur l'explication de la gravité, du mouvement des astres, et du mouvement diurne de la Terre par l'action des tourbillons. Pour un examen du livre de 1707 de Villemot, voir le chapitre II du présent livre.

1716) et Samuel Clarke (1675-1729) (défenseur de Newton) des années 1715-1716, absente chez Brunet, portant entre autre sur le statut de la gravité, dispute dont le compte rendu dans le *Journal de Trévoux* déclencherait une réaction négative contre Newton et Clarke (p. 195)⁴¹. Aiton examine aussi les travaux analytiques de mécanique céleste de l'académicien parisien Pierre Varignon (1654-1722), quasiment absent du *corpus* de Brunet, estimant que « Varignon, who never discussed vortices in relation to his planetary theory, was in effect a Newtonian », le savant français ne s'attachant qu'à un examen mathématique des phénomènes tandis que Fontenelle tendait à interpréter ces travaux en se référant aux tourbillons (p. 196-200).

Comme Brunet, Aiton évoque l'importance du *Discours* de 1732 de Maupertuis qu'il considère comme un moment clef pour le destin des tourbillons en France. Le newtonianisme de Maupertuis s'appuie notamment sur l'échec des cartésiens pour expliquer les phénomènes, en particulier les lois de Kepler, et la conciliation des deuxième et troisième lois entre elles, et développe une réfutation des arguments faisant de l'attraction une qualité occulte. Aiton évoque le mécontentement des cartésiens devant ce « fellow-countryman », pro-newtonien, et la froideur de l'Académie (simple imprimatur de l'Académie pour le *Discours*). L'auteur termine son chapitre sur la reconnaissance via l'expédition géodésique en Laponie (1736-1737), les travaux de mécanique newtonienne d'Alexis Claude Clairaut (1713-1765) relatif à la théorie de la figure de la Terre et à la prédiction du retour de la comète de Halley en 1759, de la valeur du système newtonien seul capable d'ouvrir un chemin vers le progrès (p. 200-205)⁴².

Le chapitre IX suit pour une large part les analyses de Brunet, évoquant notamment qu'à partir de *l'Éloge de M. Newton* par Fontenelle, les cartésiens commenceraient à sentir le poids des critiques, et que les publications cartésiennes de cette époque seraient largement influencées par Newton dont elles cherchent à assimiler les découvertes tout en restant dans le cadre tourbillonnaire, le refus du vide et de l'attraction à distance. Comme Brunet, l'auteur examine les travaux de Privat de Molières, de Jean (I) et D. Bernoulli. Pour Aiton, Jean (I) Bernoulli dans le prix de 1730 serait le premier à mettre en question les démonstrations mathématiques de Newton concernant l'incompatibilité des tourbillons avec la troisième loi de Kepler : selon Aiton, il s'agirait là de la partie la plus importante du mémoire de Bernoulli (p. 214-219). Ce travail resterait assez proche d'une orthodoxie cartésienne (en l'occurrence le transport des planètes par le mouvement de tourbillons), ce qui serait moins le cas du prix de 1734 : Jean (I) Bernoulli subirait désormais une forte influence newtonienne et essaierait de réconcilier les deux systèmes (p. 228-235) ; les modifications qu'il propose des tourbillons de Descartes ne seraient pas du type de celles de Privat de Molières qui garderait les tourbillons cartésiens en en changeant seulement les constituants et ce pour notamment répondre aux critiques de Newton⁴³ (p. 211-214). Pierre Bouguer (1698-1758), qui participe à ce prix et qui deviendra membre de l'Académie de Paris en 1731, rédige un dialogue entre un disciple de Descartes, un autre de Newton et un « cartésien libéral », ce dernier triomphant, ce qui, selon Aiton, refléterait les débats intérieurs qui animaient alors Bouguer⁴⁴. Chez Bouguer et Jean (I) Bernoulli, figurerait « a common desire [...] to assimilate the work of Newton and varying degrees of reluctance to abandon the planetary vortices » (p. 238). Aiton voit dans le mémoire de D. Bernoulli pour ce même prix celui d'un newtonien se déguisant sous une phraséologie cartésienne ; il évoque le désintérêt de D. Bernoulli pour les tourbillons cartésiens et estime qu'il aurait l'attraction newtonienne à l'esprit (p. 235-238). Aiton considère enfin qu'un seul des cinq mémoires contribuant au prix de 1734, qu'il

⁴¹ Les pièces de la polémique sont à l'époque accessibles dans Desmaizeaux, *Recueil de diverses pièces, sur la philosophie*, 1720.

⁴² L'expédition a pour mission de mesurer un degré de méridien terrestre en vue de déterminer la forme de la Terre et de la comparer à la forme qu'en donne la théorie newtonienne de la gravitation. Clairaut, *Théorie de la figure de la Terre*, 1743 ; Clairaut, *Théorie du mouvement des comètes*, 1759.

⁴³ Descartes considère ces tourbillons composés de globules durs tandis que Privat de Molières remplace ces petits corps par des petits tourbillons, suivant en cela la théorie du philosophe Nicolas Malebranche ; nous aurons l'occasion de revenir sur ce point notamment dans la partie 3 de cette Introduction et les chapitres III et VI du présent livre.

⁴⁴ Aiton (*The Vortex*, p. 220) précise que dans la deuxième édition de 1748 de ce mémoire, Bouguer se proclame ouvertement newtonien. Voir Bouguer, *Entretiens sur la cause de l'inclinaison des orbites des planètes*, 1734 (seconde édition en 1748).

attribue de manière erronée à l'académicien lyonnais Jean-Baptiste Duclos (1695-1743)⁴⁵, relève d'un « attachement ferme » aux tourbillons cartésiens (p. 224).

Enfin, dans son dernier chapitre, Aiton estime que la fin des années 1730 et le début des années 1740 marquent le déclin du cartésianisme et des tourbillons en physique. Le concours de l'Académie des sciences pour 1740 est significatif de ce point de vue : ce prix, sur les marées, est partagé entre quatre mémoires, dont trois (de Colin MacLaurin, Leonhard Euler, Daniel Bernoulli) basent leurs explications sur « le système newtonien » tandis que le quatrième (d'Antoine Cavalleri) cherche à justifier dans un cadre cartésien les résultats mathématiques de la théorie newtonienne (p. 246).

2.2 La thèse du conflit « cartésiens »-« newtoniens »

Brunet soutient l'idée d'une longue guerre développée par les cartésiens contre le newtonianisme, guerre qui commencerait dès les premières années du siècle, sous la forme d'un choc. La « vivacité même » de la défense des cartésiens dès le premier tiers du XVIII^e siècle serait l'indice de l'introduction des théories newtoniennes qui leur apparaîtraient non comme une « possibilité », « une éventualité plus ou moins lointaine », mais comme un fait « actuel », voire une menace actuelle (Brunet, *L'introduction*, p. 7). Ainsi, les réactions des académiciens parisiens « Fontenelle, Remond de Montmort, Cassini, Saurin, Saulmon, puis Dortous de Mairan, Privat de Molières et Réaumur suffiraient à montrer combien les théories de Descartes furent jalousement gardées par ses disciples » (*ibid.*, p. 9). L'auteur évoque aussi, au fil de ce premier XVIII^e siècle, une évolution d'attitude des cartésiens allant de la « réserve prudente », la « défensive un peu jalouse », à l'« opposition de plus en plus vive » (*ibid.*, p. 7). Cette vision apparaît dans une moindre mesure, bien que sous-tendant le discours, dans le livre de Aiton et, finalement, elle repose chez ces auteurs essentiellement sur un examen des tensions entre ce double couple attraction-vide *versus* tourbillons (impulsion)-plein. Si Aiton et Brunet évoquent le sort différent réservé à la réception de l'*Opticks* de Newton, en comparaison de celle des *Principia*, ceci est davantage suggéré qu'analysé, et il s'agit avant tout d'étudier la pénétration des théories de ce dernier *opus* et les réactions que cela suscite, en terme d'irréductibles oppositions ou de transformations des théories cartésiennes, que certains cherchent à assimiler Newton au sein d'un mécanisme (Privat de Molières) ou que d'autres changent d'attitude en se faisant newtoniens (Bouguer, D. Bernoulli). Aiton insiste sur l'opposition entre le cartésianisme, lié à la recherche de mécanismes cachés, et le newtonianisme essentiellement « positiviste » et évitant de postuler sur les causes (Aiton, *The Vortex*, p. 260-261). L'auteur, contrairement à Brunet, évoque les travaux analytiques de Varignon et conséquemment l'introduction des théories newtoniennes dès la fin du XVII^e siècle mais, là encore, de manière brève et en soulignant les tentatives de Fontenelle d'insérer ces recherches dans le cadre physique du mécanisme.

Plus récemment, en s'attachant essentiellement aux années 1730 et au début des années 1740, C. Borghero a examiné cette question des tentatives de « réconcilier », suivant le mot d'Aiton, les systèmes cartésiens et newtoniens. Il rappelle que Brunet évoque des cartésiens qu'il qualifie de « mitigés », remarque que pour d'autres historiens, comme P. Mouy, les cartésiens ont toujours manifesté une importante capacité à se réformer pour s'adapter aux dernières découvertes⁴⁶. Il évoque aussi la thèse de Guerlac (*Newton on the Continent*) qui considère que les savants de l'Académie des sciences influencés par le philosophe Nicolas Malebranche constitueraient une espèce de troisième voie reconnaissant la valeur des travaux de Newton en mathématiques et en optique, sans pour autant reconnaître le vide et l'attraction à distance, et tout en réformant le système de Descartes⁴⁷. Il estime que Guerlac a en partie raison, en ce que l'histoire de la

⁴⁵ Il s'agit en fait d'un mémoire d'un autre lyonnais, Marchand, dit le père Grégoire : ce texte fait l'objet du chapitre IV du présent livre.

⁴⁶ Mouy, *Le Développement de la physique cartésienne*, p. 262-263.

⁴⁷ Cette réforme initiée par Malebranche sera notamment évoquée dans la partie 3 ci-dessous de cette Introduction.

pénétration du newtonianisme en France a été plus complexe que l'historiographie a pu le croire et selon laquelle la « philosophie cartésienne » aurait amorcée un rapide et inexorable déclin à partir de 1730 (Borghero, *Les Cartésiens face à Newton*, p. 90-91 et p. 114-115)⁴⁸. Toutefois, Borghero nuance fortement cette vision des choses, en estimant que les partisans de cette prétendue troisième voie seraient fermement cartésiens. Pour cela, il fonde largement sa démonstration sur le cas de Privat de Molières et de son disciple Jean Baptiste Le Corgne de Launay (1724-1804). Le ton conciliant de Privat de Molières dans ses *Leçons* ou des mémoires académiques, prétendant occuper une position équilibrée entre newtonianisme et cartésianisme ne serait en fait qu'une manœuvre pour défendre le cartésianisme : il ne s'agirait nullement de concilier le plein cartésien et le vide newtonien, mais d'importer les résultats newtoniens dans le système cartésien (p. 103-122).

Borghero insiste sur l'importance de la controverse Clarke-Leibniz : les accusations de matérialisme et de retour aux qualités occultes faites par Leibniz aux newtoniens auraient eu une influence profonde sur la résistance française à l'introduction des idées newtoniennes (p. 83-90, p. 96-97). Ces résistances auraient été bien plus fortes dans les années 1730 et même 1740 et le newtonianisme aurait été encore très minoritaire à la fin des années 1730. Selon Borghero depuis le début du siècle de nombreux savants importants constituaient un « front de défense » de la physique cartésienne, l'historien mentionnant Fontenelle, Saurin, Philippe Villemot (1651-1713), Malebranche, Mairan, Varignon, Molières (p. 90-93)⁴⁹. Il considère que l'élément déclencheur de la prise de conscience de l'incompatibilité du newtonianisme avec la physique cartésienne serait la publication de la seconde édition de 1713 des *Principia* de Newton avec la préface de son disciple Roger Cotes qui se livre notamment à une critique ironique des tourbillons de Descartes et qui fait de la gravité une « propriété primitive » à la matière. À partir de ce moment débiterait l'expansion du newtonianisme en France et, en réaction, le début de critiques qui deviendraient « explicites et dures », l'auteur évoquant les attaques de Gamaches (*Système du mouvement* de 1721 et *Astronomie physique*, 1740). Borghero évoque aussi l'opposition de Jean (I) Bernoulli au vide et à l'attraction dans son prix de 1730 (p. 93) ou encore analyse des écrits du père jésuite Louis Bertrand Castel qui lui permettent de réfuter l'idée d'une troisième voie à laquelle auraient adhéré les jésuites, même si Castel peut se montrer critique à l'égard de Descartes (p. 93-101). L'auteur estime ainsi que les grands savants français étaient cartésiens vers 1700, qu'ils ont très tôt combattu le newtonianisme, position en accord avec Brunet ou Aiton et, par ailleurs, qu'ils ne sont ni devenus des cartésiens « mitigés » ni les protagonistes d'une troisième voie entre cartésianisme et newtonianisme : tout au plus s'agissait-il de « néo-cartésiens » (p. 106-107).

2.3 Relectures de la thèse du conflit

Comme souligné, Guerlac remet en cause la vision polarisée « cartésiens » contre « newtoniens » et critique alors ce qu'il nomme « the conventional picture of Cartesians arrayed against Newtonians » dépeinte par Brunet (Guerlac, *Newton on the Continent*, p. 42-43). Pour se faire, il s'appuie sur un examen des travaux de Malebranche et de « disciples et admirateurs » (p. 64).

Guerlac s'attache alors à la diffusion du calcul intégral et différentiel de Leibniz par les travaux de Malebranche et du « groupe malebranchiste », selon la terminologie d'André Robinet⁵⁰, en insérant ces travaux dans la conception des mathématiques et la philosophie de la connaissance du philosophe. Guerlac souligne que, selon Malebranche, la seule vérité accessible à l'homme est la perception des relations, des rapports entre les choses, et la connaissance ne peut

⁴⁸ Guerlac (*Newton on the Continent*, p. 72-73) critique en particulier les interprétations de Brunet faisant de Privat de Molières et Dortous de Mairan des cartésiens.

⁴⁹ Cette affirmation concernant l'académicien Varignon ne se retrouve pas dans le reste de l'historiographie ici examinée.

⁵⁰ A. Robinet, « Le groupe malebranchiste » ; Malebranche, *Œuvres*, t. XX, p. 149. Parmi ce « groupe », Guerlac (*Newton on the Continent*, p. 57) évoque Charles-René Reyneau (1656-1728), Louis Carré (1663-1711), Pierre Rémond de Montmort (1678-1719), le marquis de l'Hospital (1661-1704) puis un peu aux marges, P. Varignon.

être que celle de ces relations. Les relations les plus claires et distinctes auxquelles nous pouvons accéder sont celles d'égalité ou d'inégalité, autrement dit les relations de grandeurs. Comme les mathématiques sont précisément la science de ces grandeurs, elles constituent la connaissance la plus sûre à laquelle parvenir. Dans l'épistémologie de Malebranche, les relations formelles importent davantage que ce qui est concevable. Selon Guerlac, ceci conduit à reconnaître une primauté aux relations et lois mathématiques pour la description des phénomènes naturels, et conséquemment prédispose à la lecture et à l'assimilation des *Principia* de Newton. Pour Guerlac, l'approche mathématique du monde physique par les lois que propose ce livre ne pouvait qu'exciter l'intérêt des malebranchistes, et ce en dépit des critiques des tourbillons de Descartes qu'il contient, et l'idée aurait rapidement germé dans ce groupe de « traduire » cette mathématisation des phénomènes dans le symbolisme leibnizien du calcul différentiel et intégral (p. 58-60).

Aussi, les savants proches de Malebranche occuperaient une « position intermédiaire » (« midway position »), leurs travaux ne devant pas être lus à travers le prisme d'une polarisation cartésiens-newtoniens : loin de reconduire le modèle des tourbillons de Descartes, ces savants suivraient Malebranche dans sa volonté de réformer Descartes et, finalement, ils feraient assez de concessions à Newton pour affaiblir la forteresse cartésienne et ouvrir la route aux « militants » newtoniens (Maupertuis, Clairaut, Voltaire). Guerlac soutient que ces « malebranchistes » voient en Newton une figure majeure en mathématiques et pour la mathématisation des phénomènes naturels ; ils admirent l'expérimentateur et louent sa méthode notamment en optique ; ils adoptent la loi newtonienne en $\frac{1}{r^2}$ de la gravitation et les méthodes mathématiques mises en place pour fonder les lois empiriques de Kepler. L'auteur évoque alors la réforme que Malebranche entreprend du système de Descartes (lois du choc, réforme de la théorie de la matière de Descartes avec la substitution de son second élément par des petits tourbillons de matière subtile et avec une nouvelle explication de la cohésion des corps, nouvelle théorie de la lumière et des couleurs)⁵¹. Il évoque aussi des travaux de Dortous de Mairan sur lequel « l'influence » de Newton est visible, notamment en optique, Mairan répétant les expériences de Newton, louant sa méthode expérimentale, adoptant à l'instar de Newton une théorie de l'émission de la lumière⁵². Guerlac souligne toutefois que tout en acceptant la loi $\frac{1}{r^2}$, et en stipulant parfois ne pas s'attacher à la cause d'une telle loi, Dortous de Mairan se montre aussi « réticent » à abandonner le mécanisme et l'usage d'une matière subtile⁵³. Guerlac se concentre aussi sur Privat de Molières et rapporte les intentions de ce dernier, à savoir une réconciliation de Newton et Descartes. En particulier Molières, en s'inspirant de Malebranche, réforme les éléments et les tourbillons de Descartes afin de rendre compte des lois de Kepler, dont il s'efforce de prouver la compatibilité au sein du système des tourbillons, et retrouve avec ses tourbillons la loi en $\frac{1}{r^2}$. Guerlac rappelle que les *Leçons de physique* de Molières font figure, selon l'expression de Robinet, de « monument malebranchiste » dans lequel tout en rejetant le vide et l'attraction à distance, Molières prend ses distances par rapport aux cartésiens rigides (« narrow ») et donne la position des « cartésiens malebranchistes réformateurs » (p. 65-73)⁵⁴. Ces exemples montreraient que le monde académique français ne serait pas divisé en deux camps ou encore que ce milieu ne serait pas dominé par de « stricts cartésiens » se défendant contre « l'invasion newtonienne » (p. 64).

Shank, en s'appuyant notamment sur le *Discours préliminaire* de l'*Encyclopédie* de D'Alembert (1751) et la *Vie de Voltaire* de Condorcet (1787), remarque que ces auteurs voient dans l'émergence du newtonianisme la clef d'entrée en France des Lumières, qu'ils lient intimement les

⁵¹ Sur cette réforme, voir Robinet, *Malebranche de l'académie des sciences*.

⁵² Remarquons que Guerlac (*Newton on the Continent*, p. 78-163) traite de la réception de l'optique newtonienne en France dans un long chapitre détaillé.

⁵³ Guerlac (*Newton on the Continent*, p. 69) souligne que Dortous de Mairan loue dans la Préface de sa *Dissertation sur la glace* (1749) l'évocation par Newton d'un fluide subtil dans l'explication de phénomènes optiques ou pour la gravitation.

⁵⁴ Pour ces formules de Robinet, voir *Œuvres de Malebranche*, t. XX, p. 170-172.

théories de Newton et la « modernité » des Lumières, ce passage s'effectuant selon eux dans les années 1730 notamment avec Voltaire et ses *Lettres philosophiques* ; l'auteur évoque le « Newtonian Enlightenment » expression résumant le fait que l'« Enlightened modernity » serait un « rameau » du newtonianisme et des efforts de Français pour défendre cette science contre les cartésiens (Shank, *The Newton Wars*, p. 17-18). Pour Shank, cette vision du XVIII^e siècle est reprise au XX^e siècle (par Brunet, A. Koyré etc.) dans des récits où Newton aurait créé la méthode scientifique moderne et serait le point culminant de la révolution scientifique : le XVIII^e siècle serait le théâtre d'une réception et assimilation de la science de Newton, conflictuelles en France, puis verrait son achèvement.

Shank entend déconstruire cette histoire et montrer comment se forge avec un tel récit l'identité du « philosophe » des Lumières dans la sphère publique. Il s'attache en particulier au « scandale » provoqué par la publication des *Lettres philosophiques* de Voltaire, considéré comme un moment clef dans la création du lien « Newton-Enlightenment », et entend montrer le contexte rendant possible une telle publication, contexte remettant en cause, selon Shank, la vision que ces « philosophes » proposent d'eux-mêmes et qui les placerait à l'origine du newtonianisme en France (p. 28-29)⁵⁵.

Contrairement à Brunet, Shank considère qu'il y a eu en France une assimilation très précoce des *Principia* de Newton qui serait « absorbé confortablement, sinon calmement » dès les années qui ont suivi la parution de l'ouvrage jusque vers 1715 (p. 49). Ceci reposerait sur une distinction entre l'aspect proprement mathématique du livre, essentiellement ses deux premières parties, et son aspect physique, essentiellement la troisième et dernière partie. Or, le développement et l'influence de la philosophie de Malebranche en France dans les années 1690, s'attachant comme précédemment évoqué aux relations et rapports entre grandeurs, conditionnerait la réception initiale du newtonianisme, et s'accorderait avec une lecture phénoménaliste du livre. Le développement d'une lecture analytique des *Principia*, notamment par Varignon, contribuerait aussi à une telle lecture et à la diffusion du livre. En ce sens, Newton pouvait certes passer pour l'un des inspirateurs de cette nouvelle science du mouvement, mais c'était autant le cas de Leibniz, fondateur du symbolisme du calcul différentiel et intégral appliqué par Varignon à sa lecture des *Principia*, et de Malebranche ; pour Shank, personne n'aurait alors considéré comme newtonienne la nouvelle science qui allait se développer en France dans la première décennie du XVIII^e siècle. Shank évoque un « consensus », une « paix analytique » qui commence à s'effriter vers 1715, tout en soulignant les efforts de Fontenelle pour interpréter physiquement les travaux analytiques par l'usage des tourbillons (p. 56-76). Cet effritement serait notamment dû à la Préface anticartésienne de Côtés des *Principia* (1713), à la disparition progressive d'académiciens promoteurs du calcul analytique, à un tournant plus utilitariste de l'Académie moins portée sur les travaux théoriques (p. 76-104).

Shank s'attache aux nouvelles formes, pratiques et institutions au cœur de la vie intellectuelle de la République des Lettres dans le premier quart du XVIII^e siècle, et au discours plus critique et moins policé qu'elles font émerger. Un discours anti-newtonien se développerait à partir de 1715 et trouverait son origine dans une prise de conscience que la lecture purement mathématique des *Principia* n'était plus soutenable et que se posait alors la question de la nature du « attractionist Newtonianism »⁵⁶. Dans les années 1710, les jésuites embrasseraient le rationalisme cartésien et

⁵⁵ Selon Shank (*The Newton Wars*, p. 31-32) ce ne serait pas en se faisant le porte-parole de la science newtonienne et en rejetant Descartes que Voltaire provoquerait un scandale, ni par la philosophie qu'il défend, mais par son style et ton critiques : « what opened the French Enlightenment in 1734 was the particular way that Voltaire deployed these philosophical ideas, and the particular self-fashioning he accomplished with them, a self-fashioning that led to the definition of a new kind of critical, libertarian intellectual in France » ; ceci contribue à la formation d'une nouvelle identité, le « philosophe » qui en retour rend possible les Lumières.

⁵⁶ Parmi les facteurs de cette prise de conscience, Shank relève notamment la publication de l'*Opticks* (1706) de Newton faisant appel à l'attraction pour des phénomènes optiques, le développement d'une chimie faisant appel à l'attraction, le livre du disciple de Newton David Gregory, *Astronomia Physica et Geometrica Elementa* (1704), la polémique entre le newtonien Brook Taylor et le français Rémond de Montmort autour de 1718-1719 amplifiée par les commentaires des journalistes (le second critiquant l'attraction universelle qui fait figure d'hypothèse alors même que la nature des corps est inconnue et estimant que les tourbillons

rejetteraient l'attraction comme relevant d'une philosophie panthéiste et matérialiste. Le développement de la presse aurait alors contribué à faire évoluer l'ambiance courtoise prévalant jusque-là dans les échanges et recensions, accroissant les tendances à la critique et à la polémique. Ceci se manifeste d'abord en Grande-Bretagne et en Hollande, mais bientôt aussi en France, et l'accession du père Castel au *Journal de Trévoux* en 1720 en est une claire manifestation. Les écrits parfois vifs de Castel sont d'ailleurs pour Shank une autre cause de la prise de conscience du danger newtonien par les Français (p. 105-164).

La querelle de priorité opposant Newton à Leibniz au sujet de l'invention du calcul différentiel et intégral qui démarre en 1713, développée dans des livres, des journaux, des correspondances, aurait catalysé ce changement dans le ton des échanges savants. La querelle opposant Clarke à Leibniz à partir de 1715, et ses comptes rendus dans la presse, allait être un moment essentiel : « the Leibniz-Clarke correspondence worked to place the defenders and opponents of newtonianism on opposite sides of an irreducible intellectual divide ». Leibniz associait l'attraction et le vide au matérialisme, faisait de l'attraction un miracle, et la dispute scellerait l'opposition entre un rationalisme et une description mécaniste des causes (chez Leibniz, tout comme chez Descartes) et une conception empiriste qui constate l'attraction à partir des faits d'expérience et la considère comme un phénomène donné, quelle qu'en puisse être la cause. Cette querelle et sa réception intensifieraient l'identification du newtonianisme à l'attraction universelle et ferait de celle-ci l'objet central de contestation. Castel, dans les années 1720, à travers le *Journal de Trévoux*, développait de fortes critiques anti-newtoniennes et reprenait l'argumentaire du danger antireligieux et matérialiste de cette théorie⁵⁷. Selon Shank, ces différentes causes doivent être prises en compte pour expliquer le déclenchement d'une véritable guerre newtonienne en France à partir de 1727, à l'occasion de l'*Eloge de M. Newton* par Fontenelle. Pour l'historien, à cette période les savants français prennent clairement conscience d'être des cartésiens ayant à combattre un dangereux mouvement ou parti newtonien, ceci tranchant avec les points de vue de Brunet ou d'Aiton pour lesquels la plupart des savants français auraient été clairement et consciemment cartésiens au moins depuis le début du siècle (p. 165-231).

À partir de 1727, de nombreuses publications scientifiques seraient polarisées sur l'opposition entre cartésianisme et newtonianisme⁵⁸. Shank souligne aussi l'existence d'une « crise d'identité » sur l'opposition cartésiens-newtoniens dont souffriraient Bouguer et Jean (I) Bernoulli : leurs travaux relevant d'une utilisation du langage analytique en mécanique pourraient être lus dans un sens newtonien, comme ceux de Maupertuis, car ils s'inscrivent dans la tradition des recherches de Varignon, mais ils défendent les tourbillons. D'après Shank, « given their primary identity as analytical mechanicians, Bernoulli and Bouguer were in a position to shift allegiances easily on the physical question of impulsion or attraction », point exemplifié par la conversion de Bouguer à l'attraction dans les années 1740. *A contrario*, Privat de Molières exclut le calcul différentiel et s'efforce de suivre une organisation déductive dans un style euclidien de la mécanique, sans trop de mathématiques : « Privat de Molières' work, therefore, was intended as an explicit defense of French Cartesianism in both physical and methodological/epistemological aspects. He also made sure that the public conceived of it this way through the stridency of his own anti-Newtonian language ». Tandis que Molières réfute l'attraction et propose dans ses *Leçons de physique* de la fonder par le mécanisme, « l'approche mathématique » de Bouguer et Jean (I) Bernoulli ne serait pas « contrainte par ces nécessités rationnelles ». La paix analytique et l'interprétation cartésienne donnée par Fontenelle d'une mécanique des forces centrales recourant à l'analyse avec pour

sont plus rationnellement fondés).

⁵⁷ Cette critique reprend notamment celle de Leibniz qui dénonce ceux qui feraient de Dieu un être corporel, en particulier à ses yeux Newton, et qui dénonce le développement du matérialisme en Angleterre, notamment, selon lui, la philosophie de Locke.

⁵⁸ Notamment les travaux de Privat de Molières déjà évoqués avec les présentations qu'en donne Fontenelle, le prix de l'Académie royale des sciences remporté par Jean Simon Mazière en 1726 (*Les lois du choc des corps à ressort parfait ou imparfait*) portant sur les chocs élastiques et sa publication complémentaire *Traité des petits tourbillons de la matière subtile* (1727), le prix déjà évoqué de Jean (I) Bernoulli en 1730.

fondement le mécanisme reçoit un choc fort avec la publication du *Discours* de 1732 de Maupertuis.

Pour Shank, un des buts affichés par ce texte serait d'offrir une défense de l'attraction newtonienne compatible avec les développements analytiques de la mécanique qui eurent lieu en France. Pour ce faire, Maupertuis s'appuie sur le scepticisme de Malebranche concernant la possibilité pour l'esprit humain de connaître les causes, en reprenant l'argument occasionnaliste que la causalité par le choc (donc les tourbillons) est incompréhensible⁵⁹. Par conséquent, Maupertuis utilise les arguments de Malebranche – et donc des cartésiens – pour mieux souligner que la cause, quelle qu'elle soit – actions des tourbillons par le choc ou gravitation de Newton – est d'un point de vue philosophie inconcevable. Pour Maupertuis, le newtonianisme n'assigne pas une cause qu'il reconnaît aussi comme inconnue – la gravitation – mais s'attache à un effet mathématisé ; c'est un fait et conséquemment les accusations de retour aux qualités occultes faites par les cartésiens sont inopérantes. D'après Maupertuis, on ne peut donc pas réfuter par des arguments philosophiques la théorie newtonienne ni dénier que l'attraction puisse exister en tant que propriété de la matière. Maupertuis rejette donc les critiques cartésiennes en soulignant dans les propres termes des cartésiens le caractère non irrationnel de la théorie de Newton : pour Shank, Maupertuis développerait ainsi une version empirique et phénoménaliste française de l'attraction (p. 233-294).

Dans les années 1730, Molières et Gamaches – ce dernier notamment avec son *Astronomie physique* de 1740 dont l'écriture débute en 1732 – seraient devenus les deux porte-parole les plus éminents du parti cartésien qui s'oppose de plus en plus agressivement au groupe newtonien dont les figures les plus célèbres sont alors Maupertuis et Voltaire. Tandis que Maupertuis revient en 1737 de l'expédition géodésique en Laponie dont les résultats confirment l'aplatissement aux pôles de la Terre prévue par la théorie de Newton, le cartésianisme défendu par Molières ou Gamaches s'affirme « bruyamment » et « agressivement ». Pour sa part, Maupertuis défend la fiabilité et la précision de ses mesures dans des discussions essentiellement intra-académiques, mais l'extraordinaire affluence publique qu'a connue la séance où il a présenté ses résultats montre que l'issue du débat passionnait l'opinion. Il faudra en fait attendre 1740 pour que ce débat soit tranché en faveur de Maupertuis par de nouvelles mesures géodésiques dirigées par Cassini de Thury, fils de Jacques Cassini dont les propres mesures contredisaient la théorie newtonienne. Dans ces années 1730, pour sa part Voltaire défend le newtonianisme sur la scène publique de manière polémique et en forgeant l'identité du « philosophe » des Lumières (p. 235-402).

2.4 Descartes et Newton dans l'enseignement de la physique

Au-delà des débats sur la scène publique de la République des Lettres à travers des publications, comment, suivant quels rythmes et de quelles manières s'opèrent les adoptions des sciences cartésienne et newtonienne dans l'enseignement en France ? Dans ce qui suit, sauf avis exprès, les informations sont essentiellement tirées du livre de Brockliss, *French Higher Education* (1987)⁶⁰.

L'aristotélisme jusqu'à la fin du XVII^e siècle

Le cadre institutionnel de l'enseignement français comprend à cette époque les collèges séculiers de l'Université de Paris et les collèges religieux tenus majoritairement par les jésuites et

⁵⁹ L'occasionalisme, notamment développé par Malebranche, stipule que la causalité nous demeure inconcevable, le philosophe ne considérant qu'une unique cause, Dieu. Ainsi, le choc d'un corps contre un autre au repos n'est pas la cause réelle de la mise en mouvement de ce dernier mais seulement la cause qui donne occasion à Dieu à agir suivant des lois qu'il s'est prescrites.

⁶⁰ Et plus précisément du chapitre 7 : « Philosophy: Physics », p. 337-390). Brockliss distingue trois périodes successives : « *Thomist Aristotelianism and the New Science, 1600-1690* » (p. 337-350), « *The Cartesian Era, 1690-1740* » (p. 350-359), « *The Newtonian Era, 1740-1789* », (p. 360-371).

les oratoriens. Dans les programmes de ces établissements, le cours de philosophie, délivré sur deux années et comprenant l'étude de la logique, de l'éthique, de la métaphysique et de la physique, est dominé par la tradition scolastique jusqu'à la fin du XVII^e siècle. L'enseignement de la physique suit donc une division héritée des traités d'Aristote. On commence par l'étude de l'essence et des propriétés des corps sous l'intitulé de « Physique générale » (*Physica generalis*), qui occupe environ la moitié du temps alloué, puis on examine sous l'appellation de « Physique particulière » (*Physica particularis*) des sujets spécifiques : physique céleste, physique terrestre, météores, êtres animés, sensations. Même si le corpus des connaissances enseignées va peu à peu évoluer, l'ordre de cette présentation sera conservé pour des raisons pédagogiques.

De fait, jusqu'en 1690, les conceptions aristotéliennes ont la part belle, avec la théorie des quatre éléments, la distinction entre monde sublunaire et monde supralunaire, ou encore le recours à la physique des qualités. Jusqu'à cette date, les idées théoriques de Descartes et de Gassendi ne sont discutées qu'à la marge. Elles présentent en effet le défaut de contredire au dogme catholique de la transsubstantiation pour l'un et de nourrir les doctrines matérialistes pour l'autre. Des arguments physiques leur sont aussi opposés. Les atomes de Gassendi et la matière subtile de Descartes sont ainsi considérés comme insuffisants sinon comme faux en soi pour expliquer la formation et le mouvement des corps. Malgré tout, les cours de physique intègrent les découvertes des modernes, comme la loi de la chute des corps ou comme la pression atmosphérique, ainsi que les nouveaux phénomènes astronomiques, qui conduisent d'ailleurs les professeurs à adopter le système de Tycho Brahé pour rendre compatible l'héliocentrisme du mouvement des planètes avec l'immobilité du globe terrestre imposée par Aristote comme par le texte biblique. Le contenu des enseignements est donc très éclectique et réinterprété à l'aune des principes aristotéliens.

Le mécanisme cartésien

Après 1690, l'abandon de l'aristotélisme se fait plus franc, notamment à l'Université de Paris. Si au collège d'Harcourt le plan d'un cours de Guillaume Dagoumer (1660-1745) du tout début du XVIII^e siècle cite encore sur un pied d'égalité les opinions d'Aristote, Descartes et Gassendi⁶¹, le mécanisme cartésien a en général la faveur exclusive des professeurs contre sa concurrente directe : la philosophie corpusculaire gassendiste basée sur des principes atomistes, irrecevables aussi bien pour les aristotéliens que pour les cartésiens⁶². Le cours professé par Adrien Geffroy (? -1752) de 1718 à 1741 au collège Mazarin, ou collège des Quatre-Nations, est ainsi totalement sous l'influence des idées cartésiennes. La théorie des tourbillons y a toute sa place, même si les difficultés que pose son accord avec les lois de Kepler sont passées sous silence. L'enseignement de Geffroy s'inspire aussi des conceptions de Malebranche sur la dureté des corps et de Huygens sur la pesanteur, sans négliger les études expérimentales de Mariotte qui corrige les formulations erronées des lois du mouvement et de la percussion données par Descartes⁶³.

De façon générale, c'est donc une pluralité de théories d'inspiration cartésienne qui coexistent, modulables avec les découvertes les plus récentes de la physique expérimentale⁶⁴. C'est ainsi que, même si la lumière demeure en dernier ressort un phénomène explicable en termes mécanistes, c'est-à-dire comme le résultat d'une pression exercée dans un milieu subtil, il n'en reste pas moins que le *Traité de la lumière* de Huygens publié en 1690 amende considérablement les conceptions de Descartes sur ce sujet, tandis que la théorie des couleurs de Newton est très largement adoptée

⁶¹ Marie Lacoarret, Mme Ter-Menassian, « Les Universités », p. 146.

⁶² Sur le triomphe, ambigu, du cartésianisme sur l'aristotélisme et le gassendisme dans le dernier tiers du XVII^e siècle en France, voir Roux, « La philosophie naturelle à l'époque de Le Nôtre ».

⁶³ Firode, « Le cartésianisme dans le cours de philosophie au début du XVIII^e siècle ».

⁶⁴ Insistons à cette occasion, et peut-être contre une idée reçue, sur le rôle significatif joué par les cartésiens dans l'adoption de l'expérimentation comme méthode d'investigation en physique dès le XVII^e siècle, comme l'illustre le *Traité de physique* (1671) de Jacques Rohault (1620-1675), aux multiples éditions jusqu'en 1730, qui déduit des faits expérimentaux les hypothèses de Descartes. Voir à ce propos Mihnea Dobre, « Rohault's Cartesian Physics ».

après que Dortous de Mairan⁶⁵ a répété le premier en France l'expérience du prisme en 1717. Concernant le mouvement des planètes, les professeurs ont à leur disposition une profusion d'explications mécanistes tirées des recherches de Perrault, Huygens, Varignon et Malebranche, qui là encore modifient profondément la théorie originale des tourbillons de Descartes.

Dans les collèges jésuites aussi, même si l'enseignement reste marqué par un mode d'exposition historique passant en revue les différents systèmes qui se sont succédés au cours du temps, « beaucoup de maîtres se rallient plus ou moins ouvertement au système de Descartes »⁶⁶, et ce malgré les avis contraires de la Congrégation⁶⁷. Seule et unique exception, « le Jésuite lyonnais Gaspard Buhon publia encore en 1723 un manuel aristotélien mais ce fut vraiment le dernier »⁶⁸. Les *Entretiens physiques d'Ariste et d'Endoxe* (1729) du Père Noël Regnault (1683-1762), écrits dans la tradition des ouvrages dialogués destinés à l'enseignement⁶⁹, font quant à eux la promotion de la physique cartésienne comme de la physique expérimentale⁷⁰. Ce ralliement à Descartes est encore consacré par un nouvel ouvrage de Regnault, *Origine ancienne de la physique nouvelle* (1734), qui a pour objet de démontrer tout ce qu'Aristote avait de pré-cartésien⁷¹. Il existe cependant des freins à l'adoption pleine et entière du mécanisme cartésien, comme la préférence pour le système astronomique de Tycho, fidèle à une lecture littérale de la Bible, mais incompatible avec la théorie des tourbillons rigoureusement héliocentrique. Dans les collèges jésuites, le copernicanisme ne s'imposera sans réserve qu'après 1740.

Dans les collèges oratoriens, ce sont les ouvrages du Père Bernard Lamy (1640-1715) qui exercent une influence considérable et durable sur tout le XVIII^e siècle⁷², à commencer par ses *Entretiens sur les sciences*, dont la publication originale remonte à 1683-1684. Écrits contre la routine universitaire scolastique et édités à Grenoble et à Lyon, ils défendent un enseignement centré sur l'histoire des expériences, aussi bien en chimie qu'en anatomie et en physique, sans prendre aucun parti, même si Descartes et Malebranche constituent les auteurs les plus recommandables du nouvel esprit scientifique⁷³. Plaidoyer en faveur d'une philosophie naturelle tournée vers l'usage de l'expérience et des mathématiques, l'ouvrage ne contient pourtant pas un corpus de connaissances à enseigner mais constitue plutôt une propédeutique. Il connaîtra deux éditions augmentées du vivant de son auteur en 1694 et 1706, puis deux actualisations en 1724 et 1752, toujours à Lyon⁷⁴. Précisons que l'enseignement des oratoriens ne prend officiellement pied à Lyon qu'en 1763 après l'expulsion des jésuites.

La place des théories de Newton dans l'enseignement

⁶⁵ Le positionnement de Mairan, dans la sphère académique, illustre parfaitement cette combinaison d'une fidélité aux principes mécanistes hérités de Descartes et d'une ouverture aux résultats de la physique expérimentale. Voir à ce propos Chabot, Breteil, « La réception épistémologique de l'œuvre scientifique de Dortous de Mairan dans l'*Encyclopédie* ».

⁶⁶ Sur ces deux ouvrages, voir Perru, *Hommes d'Église et science au XVIII^e siècle*, p. 269-287.

⁶⁷ Dainville, « L'enseignement scientifique dans les Collèges des Jésuites », p. 45.

⁶⁸ Sur la censure imposée à la philosophie cartésienne par diverses autorités religieuses, politiques et académiques, voir Ariew, *Descartes and the First Cartesians*.

⁶⁹ Brockliss, « Le contenu de l'enseignement et la diffusion des idées nouvelles », p. 213-222 pour la physique et les mathématiques, p. 216 pour la citation.

⁷⁰ La forme du dialogue remonte à l'Antiquité. À l'époque moderne, elle connaît une déclinaison célèbre à travers l'œuvre de Galilée. Fontenelle s'en empare pour diffuser l'astronomie copernicienne et la théorie cartésienne des tourbillons (*Entretiens sur la pluralité des mondes*, 1686), tandis que Fénelon la revisite pour fonder le roman d'éducation (*Les Aventures de Télémaque, fils d'Ulysse*, 1699). Sur l'importance de ce genre au XVIII^e siècle pour la diffusion des idées scientifiques, voir Chassot, *Le Dialogue scientifique au XVIII^e siècle*.

⁷¹ Dainville, « L'enseignement scientifique dans les Collèges des Jésuites », p. 46.

⁷² Sur ces deux ouvrages, voir Perru, *Hommes d'Église et science au XVIII^e siècle*, p. 269-287.

⁷³ Voir à ce propos Roveda, « Des épines aux fleurs des mathématiques : l'enseignement des sciences chez Bernard Lamy ».

⁷⁴ Costabel (« L'Oratoire de France et ses collèges », p. 94) précise que Lamy avait payé son attachement au cartésianisme d'un exil à Grenoble par ordre du roi en 1676.

⁷⁵ Costabel identifie l'exemplaire de cette dernière édition conservé à la Bibliothèque nationale comme « un prix donné le 27 août 1775 à un élève de 3^e du collège de la Trinité de Lyon » (« L'Oratoire de France et ses collèges », p. 88). L'*ex-libris* de l'exemplaire conservé à la bibliothèque municipale de Lyon porte lui aussi mention du collège de la Sainte Trinité, avec la date de 1777.

La percée du cartésianisme chez les professeurs du début du XVIII^e siècle a pour contrepartie une indifférence teintée de mépris pour la loi newtonienne de l'attraction. Le mécanisme est en effet en rupture avec les causes « occultes », dont relève l'idée d'action à distance. Jusque dans les années 1720, elle est à peine mentionnée et surtout réduite à la simple expression mathématique d'un phénomène physique plus fondamental. En outre, les professeurs de physique ne disposent pas d'un bagage mathématique suffisant pour comprendre et encore moins expliquer à leurs étudiants la formule newtonienne. Ce manque de compétences mathématiques les contraint d'ailleurs aussi à faire l'impasse sur les innovations récentes apportées à la théorie des tourbillons par Leibniz, Villemot, Saurin ou Bilfinger, pour l'accorder avec les lois de Kepler. Il n'y a que Privat de Molières pour tenter de concilier, dans les cours qu'il délivre de 1723 à 1742 au Collège Royal, la loi de la gravitation avec les tourbillons, et pour ce faire à développer et enseigner une physique cartésienne mathématisée⁷⁵.

Les choses changent à la fin des années 1730, époque à partir de laquelle les professeurs commencent à discuter sérieusement des mérites comparés de l'attraction et des tourbillons dans leurs cours. Les débats sur la figure de la Terre qui agitent l'Académie des sciences de Paris ont ainsi un écho jusqu'au Collège de Lyon où, le 10 mai 1738, Duclos se détermine publiquement contre Newton et pour le sentiment de Descartes et Cassini. De façon générale cependant, même les professeurs les plus fidèles au cartésianisme prennent dès lors la peine d'intégrer les lois de Kepler et la loi newtonienne en $1/r^2$ dans le cadre de la théorie des tourbillons, suivant en cela directement l'actualisation qu'en a fait Privat de Molières. D'autres adoptent une position d'attente, sans trancher ni en faveur des tourbillons ni en faveur de l'attraction. C'est avec Pierre Sigorgne (1719-1809) que les idées de Newton font leur entrée de plain-pied dans l'enseignement, au très prestigieux collège du Plessis-Sorbonne⁷⁶. Son cours, imprimé en 1747 et destiné à présenter aux « commençans » la théorie des forces centrales et celle de la résistance des milieux, constitue bientôt la base de l'enseignement des théories newtoniennes en France⁷⁷.

Mais l'acceptation des idées de Newton reste lente, notamment dans les collèges jésuites, où elles n'ont commencé à avoir gain de cause qu'à la toute fin des années 1750. À l'occasion de la recension d'un *Dictionnaire de physique* publié en 1758 par Aimé-Henri Paulian, conciliateur de Descartes et de Newton, un rédacteur du *Journal de Trévoux* confie : « Est-ce que les Physiciens de 80 ans n'ont pas vu régner de suite, le Péripatétisme, le Cartésianisme, le Mallebranchisme, le Moliérisme, le Newtonisme, sans compter les petits systèmes subalternes ? »⁷⁸.

Pour terminer ces recensions historiographiques, remarquons que les histoires de la réception des théories newtoniennes évoquées dans les parties 2.1 à 2.3 renferment un certain nombre de points communs notamment concernant des protagonistes et des publications essentielles de l'époque. Mais les historiens ne s'accordent pas nécessairement sur les périodisations et sur le déroulement des événements. Ainsi, Brunet et dans une moindre mesure Aiton évoquent un conflit immédiat qui s'estomperait vers 1740, conflit dont Borghero souligne l'intensité en 1730 et 1740. Guerlac questionne cette vision des événements centrée sur une opposition entre « cartésiens » et « newtoniens » en évoquant la figure de Malebranche à travers sa réforme du

⁷⁵ Privat de Molières, *Leçons de mathématiques*. Le fait est aussi souligné par Firode, « Le cartésianisme dans le cours de philosophie », p. 73-74. Sur cette mutation mathématique de la physique et ses conséquences sur l'accès à la communauté scientifique dans la première moitié du XVIII^e siècle, voir Gingras, « Mathématisation et exclusion : socio-analyse de la formation des cités savantes ». Gingras défend la thèse d'une résistance à la mathématisation chez les savants cartésiens à l'origine de leur marginalisation.

⁷⁶ Sur Sigorgne, voir Griveaud, « Un physicien oublié du XVIII^e siècle : l'abbé Pierre Sigorgne de Rembercourt-aux-Pots (1719-1809) ». Sigorgne est alors engagé dans une dispute avec Privat de Molières, précisément sur la compatibilité des tourbillons avec la loi de la gravitation (Sigorgne, *Examen et réfutation des leçons de physique expliquées par M. de Molières*). Le physicien Jean Antoine Nollet (1700-1770) porte quant à lui la controverse sur le terrain de l'expérience en effectuant des mesures sur les fluides en rotation (*Sur les tourbillons cartésiens*, HARS 1741 (1744)).

⁷⁷ Sigorgne, *Institutions newtoniennes*. L'ouvrage connaîtra une seconde édition enrichie en 1769. Sur l'importance de cet ouvrage dans la diffusion des théories newtoniennes, voir la thèse de Guyot, *La Mise en place d'une nouvelle philosophie de la physique au 18^e siècle*.

⁷⁸ *Mémoires de Trévoux*, juillet 1759, p. 1858. Sur Paulian, voir Mulard, *Aimé-Henri Paulian (1722-1802) et sa physique « newto-cartésienne »*, *L'optique newtonienne revisitée*.

mécanisme et l'importance de son épistémologie des mathématiques sur la science française, laquelle permettrait la diffusion et l'appropriation des théories de Newton. Pour sa part, Shank développe considérablement ce dernier point en s'attachant à la réception de Newton à travers la « mécanique analytique »⁷⁹. Ces différentes études, par leurs thèses contradictoires et leurs approches respectives, paraissent se compléter pour dessiner le paysage intellectuel de l'époque. Borghero éclaire sous un autre jour les vellétés affichées par des savants comme Molières de concilier les Descartes et Newton que ne le font Brunet, Aiton et Guerlac. Mais ce dernier met davantage l'accent sur l'importance de la philosophie de Malebranche en mathématiques, tout comme Shank, et insiste plus que ce dernier et que Borghero sur l'importance de la réforme du mécanisme de Descartes qu'initie le philosophe. Nous aurons l'occasion dans nos chapitres et dans la conclusion de cet ouvrage de confronter ces différentes histoires et thèses avec les pratiques des membres de l'ABA et l'ABSL.

L'adoption des idées newtoniennes au milieu du XVIII^e siècle est donc loin d'être univoque. Elle consiste pour l'essentiel dans le deuil de l'explication mécanique du mouvement des planètes par la théorie des tourbillons, dont on ne trouve plus de trace dans les cours au milieu des années 1760. Pour le reste, les principes fondamentaux du newtonianisme sont controversés. On souligne que l'existence des atomes est en contradiction avec l'idée d'une matière divisible à l'infini. Certains professeurs, comme Paulian, préfèrent à l'idée de vide absolu celle de plein pour expliquer la propagation de la lumière. Il existe aussi des désaccords sur le caractère universel de l'attraction, par exemple pour rendre compte de la capillarité⁸⁰. Le concept même d'action à distance continue à diviser. Certains adoptent un newtonianisme fort en le considérant comme une propriété inhérente à la matière et résultat de la volonté divine. D'autres, comme Nollet, refusent de lui prêter une existence propre et laisse la question de sa véritable cause indéterminée, plus fidèle en cela à Newton lui-même. Pour beaucoup, l'impulsion reste la seule façon de penser la transmission du mouvement en physique et le recours à un agent intermédiaire du type matière subtile demeure le seul horizon théorique acceptable. Les idées d'attraction et d'impulsion constituent deux pôles entre lesquels se positionnent les professeurs, certains allant même jusqu'à leur accorder une égale valeur ou bien les renvoyant dos à dos comme incomplètes. Plutôt que des positions strictement dogmatiques que l'on serait tenté d'attribuer aux termes de cartésianisme et de newtonianisme, on observe en fin de compte une cohabitation entre plusieurs conceptions. Ceci suggère alors de s'intéresser aux définitions des termes « cartésiens » et « newtoniens » données par des protagonistes de l'époque.

3. L'usage des termes « cartésiens » et « newtoniens » dans le premier XVIII^e siècle

Les études de Brunet, Aiton, Guerlac, Shank et Borghero recourent aux mots « cartésiens » et « newtoniens » essentiellement à travers l'examen de la réception des théories de Newton sur le continent et à travers le prisme des relations/tensions entretenues entre deux communautés. Si ces angles d'analyse permettent de rendre compte de revendications d'appartenances, ces études ne s'attachent pas spécifiquement à une recension précise de l'usage de ces vocables par les savants de l'époque. Cette approche peut aussi tomber dans l'écueil de masquer des divisions au sein d'un même groupe et, en particulier, à minorer l'importance des réformes du mécanisme de Descartes entreprises au XVIII^e siècle, réformes qui, comme nous le constaterons ci-dessous, ne sont pas seulement déterminées par les critiques de Newton.

Cette partie 3 de notre Introduction s'attache essentiellement à la manière dont des savants du premier XVIII^e siècle définissent eux-mêmes les termes « Cartésiens » et « Newtoniens ». S'ils se réclament de ces écoles, comment les caractérisent-ils et selon quels critères opèrent-ils une distinction entre elles ? Ces dénominations recouvrent-elles les mêmes significations pour tous et

⁷⁹ Notons que chez cet auteur le terme abondamment utilisé n'est jamais interrogé ni défini.

⁸⁰ Sur la persistance du mécanisme dans ces recherches au milieu du XVIII^e siècle, voir Chabot, Ferlin, « Capillarité, adhésion, cohésion : physique explicative et physique expérimentale chez Dutour de Salvert (1711-1789) ».

existe-t-il des dissensions au sein d'une famille donnée ? Le *corpus* analysé – mémoires et prix académiques, traités, extraits de journaux – est essentiellement continental et, par conséquent, insiste davantage sur les motifs évoqués par des « Cartésiens » pour se démarquer des « Newtoniens », mais il montre aussi pourquoi des « Cartésiens » s'opposent à d'autres « Cartésiens ». En ne s'attachant à des définitions impliquant qu'une seule famille, cette recherche ne prétend pas dresser une histoire du cartésianisme et du newtonianisme. Plus modestement, elle montre la diversité des arguments contre Newton, qu'ils concernent les principes ou les méthodes scientifiques, et le contexte dans lequel les académies de Lyon baignent et auquel elles participent ; elle met aussi en pleine lumière l'existence de différents courants au sein des « Cartésiens » dans lesquels il est possible d'inscrire des travaux et les réflexions de savants lyonnais. Dans la « Quatorzième lettre sur Descartes et Newton » de ses *Lettres philosophiques* de 1734, Voltaire dresse le tableau de deux mondes différents habités d'un côté par les « Français » et de l'autre par les « Anglais », les premiers « Cartésiens » adeptes du plein et de l'impulsion et remplissant l'univers d'une matière subtile, les autres tenant du vide et de l'attraction suivant en cela les thèses de « M. Newton »⁸¹. Pourtant, si les « Cartésiens » se distinguent de Newton pour les raisons avancées par Voltaire, l'examen de leurs travaux suggère aussi que l'uniformité de sentiments que le philosophe semble leur prêter tombe dans l'écueil de masquer la diversité des courants qui traverse ce groupe.

Dans un premier temps, nous ferons un bilan de l'usage des termes dans les ouvrages examinés dans la partie 2, ouvrages auxquels nous joindrons d'autres études. Puis nous rapporterons des définitions rencontrées dans des dictionnaires et des encyclopédies de l'époque. Ensuite, nous analyserons ce qui caractériserait les « Cartésiens » en évoquant leurs principes et leurs méthodes explicatifs de phénomènes, et les arguments utilisés pour rejeter les fondements de la science de Newton. Nous examinerons un type de réforme du système de Descartes, la réforme initiée par Malebranche, en donnant ses caractéristiques et en remarquant que de nombreux savants s'inscrivent dans ce courant. Ainsi, de membres de l'Académie royale des sciences tels que Privat de Molières, Dortous de Mairan, Etienne Simon Gamaches, mais aussi des académiciens lyonnais comme Lozeran du Fesc, le père Béraud. Comme cela sera détaillé dans la partie 4 de l'Introduction, des débats au sein de l'ASBL et de l'ABA témoignent de l'importance de ce courant réformateur⁸². Enfin, nous soulignerons que si des savants recourent à des fluides invisibles, cela ne les empêche pas de dénoncer les abus de ce genre de pratiques et en l'occurrence de critiquer les « systèmes ».

3.1 Quelques définitions dans l'historiographie

Pour Brunet les « cartésiens » sont avant tout adeptes d'une « physique cartésienne » assimilée à « l'explication tourbillonnaire du monde » (Brunet, *L'introduction*, p. 1). Même s'il existe des modifications de la théorie de Descartes de la part des « cartésiens », ceux-ci restent une grande famille ressortissant à « l'esprit du cartésianisme » : il s'agit de transformations de la part de « disciples » des « doctrines du maître » pour « sauver le système » (p. 93-94). Brunet évoque alors des « cartésiens critiques », ceux partisans de Malebranche, qu'il oppose aux « cartésiens rigides » ou « intransigeants » comme ceux du *Journal de Trévoux*, tout en minimisant cette distinction : il réunit systématiquement sous le seul vocable de « cartésiens, pour les opposer aux newtoniens », des savants qui « directement ou indirectement, se rattachaient à Descartes » (note 2, p. 93-94).

Pour sa part, Aiton évoque les « Cartesians », ou encore le « Cartesian system » en se référant finalement à l'usage des tourbillons (Aiton, *The Vortex*, p. 209-210). Il souligne que « Duclos »⁸³ était fermement attaché à la théorie des tourbillons de Descartes, mais évoque aussi l'influence qu'il subit de Villemot, Malebranche, et Molières, en particulier de la tentative de ce dernier de

⁸¹ Voltaire, *Lettres philosophiques* (1734), p. 118-120.

⁸² Voir aussi chapitres III et VI.

⁸³ Rappelons qu'il s'agit en fait de Marchand, voir le chapitre IV du présent livre.

« réconcilier » la « physique anglaise » et la « physique française » (p. 224). Si Jean (I) et D. Bernoulli, comme Molières, cherchent à « réconcilier » les deux « systèmes », Molières conserve « the fabric of the Cartesian vortex », modifiant « seulement » le « matériel brut » en faisant sienne l'hypothèse des petits tourbillons de Malebranche⁸⁴ ; les Bernoulli se montreraient plus « critiques » à l'encontre de la « structure » du tourbillon⁸⁵ (p. 221, p. 229-230). Malgré tout, l'historien souligne le « cartésianisme » de Jean (I) Bernoulli qui, tout en renonçant à ce que la matière subtile emporte avec elle les planètes, ceci en raison de l'incompatibilité des deuxième et troisième lois de Kepler entre elles dans le système des tourbillons (p. 221, p. 229-230), et tout en n'adhérant pas aux réformes de Malebranche, vise à « trouver les causes physiques des faits empiriques sur lesquels les concepts d'attraction et de vides de Newton s'appuient » (p. 228).

Selon Borghero, la réforme de Malebranche consiste avant tout à « reformuler [...] la théorie cartésienne », tandis qu'avec les travaux de Molières « la primauté du mécanisme en sortait confirmée et Descartes restait solidement sur le trône de la science moderne » ; l'auteur évoque aussi des « néo-cartésiens » à savoir ceux disposés à modifier les tourbillons de Descartes pour sauver les tourbillons des critiques (Borghero, *Les cartésiens face à Newton*, p. 106-107). Pour Shank, les approches analytiques de la mécanique brouilleraient d'une certaine manière les frontières entre « cartésiens » et « newtoniens » et prépareraient le basculement qu'opérerait Maupertuis en 1732 vers une science analytique sans recours aux fluides. Mais un savant comme Privat de Molières, qui ne suivrait pas cette voie analytique, ferait preuve d'un « zèle cartésien » et illustrerait « an explicit defense of French Cartesianism in both physical and methodological/epistemological aspects », l'auteur semblant faire de Molières le représentant d'une « physique cartésienne » du fait qu'il développe une « vortex astronomy » ; pour la même raison, il évoque le « Gamaches' Cartesian program » (Shank, *The Newton Wars*, p. 284, p. 348). En ce sens pour Shank, mais aussi pour Guerlac, le mot « cartésien » reste essentiellement un label pour étiqueter une physique des tourbillons⁸⁶. On retrouve cet usage et ce sens du terme notamment dans des études de Carolyn Iltis et Ellen Mc Niven Hine, cette dernière introduisant aussi le néologisme « Cartonian » pour caractériser la science de Dortous de Mairan⁸⁷.

Rod W. Home soutient qu'il est impossible de classer les physiciens expérimentateurs français du XVIII^e siècle dans le camp des « cartésiens » ou des « newtoniens », et que l'histoire traditionnelle du conflit opposant ces deux familles ne s'adapte pas véritablement à la réalité des pratiques. L'auteur souligne les dangers d'étendre les conclusions d'un tel récit, élaboré essentiellement à travers l'histoire de la mécanique céleste, à tous les champs de la physique et, pour sa part, évoque une approche éclectique des expérimentateurs⁸⁸.

⁸⁴ Autrement dit, Molières change les corpuscules du second élément de Descartes qui composent les grands tourbillons par des petits tourbillons.

⁸⁵ Manifestement par ce dernier commentaire l'auteur fait allusion à l'absence d'inertie du premier élément qui compose la matière fluide de Jean (I) Bernoulli et le fait que les particules de son second élément soient éparpillées dans le premier alors que pour Descartes elles étaient contiguës. Aiton, *The Vortex*, p. 229-230.

⁸⁶ Guerlac (*Newton on the Continent*, p. 73) remarque que Mairan et Molières « were by no means rigidly Cartesian ». « Cartésiens » renvoie essentiellement à la théorie de Descartes proprement dite et, conséquemment, le mot implique le système des tourbillons sans pour autant être systématiquement utilisé comme appellation réunissant une famille.

⁸⁷ Iltis, « The Decline of Cartesianism in Mechanics : the Leibnizian-Cartesian Debates ». Pour cet auteur, outre les tourbillons, les « cartésiens » sont aussi ceux qui réduisent la mécanique à une cinématique en identifiant la force à une quantité de mouvement : elle évoque la « Cartesian kinematics ». 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, voir Gabbey, « Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics » et Schmit, « Les dynamiques de Jean-Jacques Dortous de Mairan ». McNiven Hine, « Dortous de Mairan, the 'Cartonian' » montre l'importance des idées de Newton sur Dortous de Mairan et écrit aussi que « 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 ». Chez Iltis et Hine, le mot « cartésiens » renvoie finalement à des savants qui développent une science dans le cadre de la philosophie mécanique. Notons, pour notre part, que ces savants ne s'accordent pas forcément sur les fondements de cette philosophie et sur les méthodes explicatives de phénomènes, diversité qu'une appellation commune tend à masquer ; « Cartonian » souffre alors des mêmes imprécisions que « Cartesian ».

⁸⁸ Home, « The Notion of Experimental Physics in Early Eighteenth-Century France ».

Laurence M. Principe montre l'inanité des catégories « cartésiens »-« newtoniens » pour la chimie du premier XVIII^e siècle⁸⁹. En particulier, il remet en cause le récit voyant dans un premier temps la substitution d'une chimie aristotélicienne/paracelsienne par une autre cartésienne, elle-même remplacée ensuite par une chimie newtonienne caractérisée par des actions à distances entre particules. Dans un tel récit, une chimie mécaniste dite « rationnelle », initiée par Nicolas Lémery, est qualifiée de « cartésienne » par des historiens car les explications des phénomènes reposent sur la taille, la forme et le mouvement de corps. Mais pour Principe, d'une part, il n'existe pas à proprement parlé de chimie cartésienne et, d'autre part, la chimie de Newton est marginale au XVIII^e siècle. Ainsi Descartes ne joue qu'un rôle minime dans la chimie de Lémery : ce dernier ne propose qu'une chimie basée sur la figure des corps pour les acides et les alkalis tandis que Descartes fait intervenir tout un panel de particules spécifiques pour différents phénomènes, et, par ailleurs, Lémery reste influencé par la chimie traditionnelle des principes. Plusieurs historiens remettent en cause l'existence d'une chimie « cartésienne » ou préconisent des précisions terminologiques⁹⁰. Principe soutient que l'opposition « cartésiens »-« newtoniens » est « illusoire » dans cette science et suggère l'abandon de telles notions.

3.2 Dictionnaires et encyclopédies

Les entrées « Cartésien » et « Cartésianisme » n'apparaissent que dans la quatrième édition du *Dictionnaire de l'Académie française*⁹¹. La première édition de 1690 du *Dictionnaire universel* de Furetière ne contient pas d'article « Cartésien » qui apparaît en 1702 : « philosophe qui est dans les sentimens de Descartes »⁹².

Les éditions du *Dictionnaire universel français et latin* ou dictionnaire de Trévoux de 1704 et 1721 donnent une définition semblable pour « Cartésien » et seule l'édition de 1721 propose une entrée « Cartésianisme » présentant les « principes de Métaphysique & de Physique » de Descartes. On y trouve un rejet de la thèse que l'étendue est l'essence de la matière comme contraire à la transsubstantiation. Le dictionnaire précise que selon Descartes « on ne peut rien retrancher de l'étenduë d'une chøse, sans retrancher de sa substance », or « la foi nous apprend que le corps de JESUS-CHRIST ne perd rien de sa substance dans le Sacrement de l'Eucharistie, quoi qu'il y perde beaucoup de son étenduë ». L'article évoque le système du plein de Descartes, la naissance des tourbillons et des trois éléments⁹³ « par la voye de la Mécanique, & par les régles du mouvement » en prenant pour prémices la création d'une matière indéfinie par Dieu qu'il a divisée par le mouvement. L'entrée souligne qu'« on trouve ce système dangereux » car « favorable aux Athées » qui admettent une matière éternelle et expliquent la formation du monde par des lois mécaniques, mais le rédacteur précise que ces athées ne peuvent s'accommoder d'un tel système qui en supposant le plein rend impossible le mouvement, et il ajoute que selon Descartes la matière n'a d'elle-même aucun mouvement car seul Dieu le lui imprime. Le propos mêle ainsi défense de Descartes (contre des accusations d'athéisme) et critiques (la thèse cartésienne de

⁸⁹ Principe (dir.), *New Narratives in Eighteenth-Century Chemistry*, p. 3-11.

⁹⁰ En particulier, la science inspirée par Descartes est marquée par la volonté de réduire la chimie aux principes du mécanisme, ne lui accordant pas ainsi d'autonomie et d'identité particulière. 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 alchimique. Pour ces questions, voir notamment Clericuzio, « A Redefinition of Boyle's Chemistry and Corpuscular Philosophy » ; Clericuzio, *Principles and Corpuscles*, p. 163-212 ; Joly, « L'anti-newtonianisme dans la chimie française au début du XVIII^e siècle » ; Joly, « Chimie et mécanisme dans la nouvelle Académie royale des sciences » ; Joly, *La chimie de Descartes*, Paris, Vrin, 2011. 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 ».

⁹¹ « Cartésien » renvoie à « philosophe attaché aux principes de Descartes », tandis que « Cartésianisme » donne « philosophie de Descartes ». *Dictionnaire de l'Académie française* (1764), t. I, p. 252.

⁹² Furetière, Basnage de Beauval, *Dictionnaire universel* (1702), t. I, « Cartésien », p. 323b.

⁹³ Rappelons que ces éléments sont les différentes formes que prend la matière originelle après sa division. Ainsi, le premier élément est la matière subtile, le deuxième se compose de corpuscules ronds et durs, le troisième de parties grossières dont l'assemblage forme les corps terrestres.

l'essence de la matière, mais aussi les raisonnements de Descartes conduisant à rejeter l'existence du vide), et se clôt par ce jugement qu'« on en est revenu » du cartésianisme et qu'« on ne trouve aujourd'hui guères plus de solidité dans les éléments du Cartésianisme, que dans les qualitez occultes de la vieille Philosophie ». Malgré tout, l'article évoque aussi comme un bienfait l'usage des mathématiques par Descartes qui servent à « purger » la physique de « choses inutiles » et « à expliquer d'une manière physique les effets de la nature » ; les éditions de 1743 et 1752 du *Dictionnaire universel* contiennent la même entrée « Cartésianisme »⁹⁴.

« Neutronianisme » fait son apparition en 1752 dans le dictionnaire de Trévoux comme la « doctrine de Newton » qu'« on a voulu introduire depuis peu en France » et qui « renverse toute la Philosophie », tandis que « Neutronien » renvoie au philosophe versé « dans les sentimens de Newton ». Ces articles se composent d'extraits des *Observations sur les écrits modernes* de l'abbé Pierre François Guyot Desfontaines (1685-1745) d'où ils tirent des jugements anti-newtoniens, notamment cette phrase : « de quelque côté qu'on envisage le système Neutronien, (sur le vuide) ce n'est que deraison »⁹⁵. Pour Desfontaines, les « principes généraux du physicien anglois », en particulier l'usage du vide, relèvent d'une « mauvaise Physique »⁹⁶.

La *Cyclopaedia* de Chambers propose un jugement d'une tout autre nature. Pour la rédaction de son encyclopédie Chambers emprunte beaucoup au dictionnaire de Trévoux de 1721 et l'entrée « Cartesian Philosophy, or Cartesianism » n'échappe pas à la règle. Mais si Chambers reprend la quasi-intégralité de « Cartésianisme » du Trévoux (1721), il s'en démarque aussi par des ajouts comprenant une évocation de la critique de Locke de la thèse cartésienne faisant de la pensée l'essence de la substance qui pense, et de la critique de Newton de l'univers plein de Descartes et des tourbillons. Chambers rapporte aussi la critique du Trévoux concernant la transsubstantiation. Enfin, il donne en condensé une description du système du plein et des tourbillons, jugeant qu'il a un « Air of a Romance, than of a just Philosophy », et que les éléments de Descartes et les tourbillons ont la même valeur que les qualités occultes, tout en reconnaissant la dette due à Descartes par l'usage de la géométrie et des lois de la mécanique dans l'étude de phénomènes naturelle, et donc la dette, « in some measure », de la « *Newtonian Philosophy* »⁹⁷.

L'entrée « Cartésiens » de l'*Encyclopédie* définit ces derniers comme les « partisans de la philosophie de Descartes » en ajoutant qu'« il n'est presque plus aujourd'hui de Cartésiens rigides, c'est-à-dire ceux qui suivent *Descartes* exactement en tout »⁹⁸. L'article, non signé, invite à consulter « la fin » de « Cartésianisme », laquelle est écrite par D'Alembert. Ce dernier évoque les difficultés rencontrées par la philosophie de Descartes à être admise en France, considère « ce grand homme comme un génie sublime & un philosophe très-conséquent », et ajoute que « la plupart de ses sectateurs n'ont pas été aussi conséquens que lui », puisqu'ils ont admis certaines de ses opinions et en ont rejeté d'autres sans prendre garde à « l'étroite union » qui les unissaient. Parmi les « sectateurs illustres », D'Alembert mentionne notamment Malebranche et Villemot⁹⁹. La partie de l'article « Cartésianisme » qui précède ce passage de D'Alembert est de la plume de Jean Pestre (1723-1821) qui, notamment, donne un résumé du système physique de Descartes en concluant « qu'un tel système n'est nullement recevable »¹⁰⁰.

L'entrée « Newtonianisme ou Philosophie newtonienne » rédigée par D'Alembert est quasiment identique à « *Newtonian Philosophy* » de la *Cyclopaedia* de Chambers¹⁰¹. D'Alembert

⁹⁴ « Cartésianisme », *Dictionnaire universel françois et latin* (1721), t. I, p. 1475b-1476a. Voir « Cartésien », p. 1476a ; voir aussi ce dernier terme dans l'édition de 1704, tome I.

⁹⁵ « Neutronianisme » et « Neutronien », *Dictionnaire universel françois et latin* (1752), p. 941-942. L'extrait cité provient de Desfontaines, *Observations*, t. XV, p. 57 et concerne une recension critique des *Elémens de la philosophie de Newton* de Voltaire.

⁹⁶ Desfontaines, *Observations*, t. XV, p. 49-67. La critique porte en particulier contre la théorie newtonienne de l'émission de la lumière dans le vide exposée dans le premier chapitre du livre de Voltaire.

⁹⁷ Chambers, « Cartesian Philosophy, or Cartesianism », *Cyclopaedia* (1728), t. I, p. 164-165. L'article du même nom de l'édition de 1741-1743 de la *Cyclopaedia* est identique.

⁹⁸ « Cartésiens », *Encyclopédie*, t. II (1752), p. 726a.

⁹⁹ « Cartésianisme *Philosophie de Descartes* », *Encyclopédie*, t. II (1752), p. 725a-726a.

¹⁰⁰ *Ibid.*, p. 723b.

¹⁰¹ Chambers, « *Newtonian Philosophy* », *Cyclopaedia* (1728), t. II, p. 628-630 ; l'article du même nom de l'édition de 1741-1743 de la *Cyclopaedia* est identique. Rappelons que la *Cyclopaedia* est une source essentielle à l'*Encyclopédie*.

définit le mot par « la théorie du mécanisme de l'univers, & particulièrement du mouvement des corps célestes, de leurs lois, de leurs propriétés, telle qu'elle a été enseignée par M. Newton ». L'article donne avant tout un précis du troisième livre des *Principes* de Newton et évoque la « méthode » du savant basée sur des déductions à partir des « phénomènes, sans aucune hypothèse antécédente » et qu'en ce sens elle ne diffère pas de la « philosophie expérimentale »¹⁰². D'Alembert, dans « Tourbillons », qui reprend aussi en grande partie « Vortex » de Chambers, écrit qu'il s'agit du « grand principe » par lequel les « successeurs de Descartes » ou encore les « Cartésiens » expliquent la plupart des mouvements et notamment ceux des corps célestes, avant de souligner que « cette doctrine [...] est purement hypothétique ». D'Alembert rapporte les critiques de Newton à l'encontre de ce système et écrit que les « petits tourbillons » de Malebranche, faits « à l'imitation de ceux de Descartes », « sont presque oubliés aujourd'hui » et subissent le même sort que les grands tourbillons de Descartes¹⁰³.

Ces différents articles mettent en lumière des différences et caractéristiques essentielles des systèmes « cartésiens » et « newtoniens ». Ils évoquent des oppositions entre une physique du plein et une autre du vide, soulignent le caractère hypothétique d'un système l'opposant au caractère expérimental d'un autre, remarquent les évolutions du mécanisme des tourbillons sans pour autant insister sur cet aspect, semblant ainsi réunir sous une appellation commune « cartésiens » ceux qui recourent aux tourbillons, comme le fait Voltaire. Si, comme nous le verrons ci-dessous, ces différents éléments se retrouvent effectivement chez des protagonistes de l'époque comme moyens pour se définir et s'identifier en tant que groupe, pour autant, ceux que D'Alembert nomme « successeurs de Descartes » ne forment pas un ensemble homogène.

3.3 Des principes et des méthodes distincts

3.3.1 Plein-impulsion *versus* vide-attraction

L'univers plein

Les *Leçons de Physique* (1733-1739) de l'académicien Privat de Molières, qui correspondent à des cours professés au Collège Royal, s'ouvrent par cette « maxime fondamentale » qu'« il ne faut pas multiplier les Principes sans nécessité. Il faut déduire les effets de la Nature des suppositions les plus simples »¹⁰⁴. Molières nomme « Effet tout ce qui arrive dans l'Univers » ; « Cause physique ou Force un effet qui produit un autre effet » et « Principe un effet [...] qu'on ne déduit d'aucun autre effet »¹⁰⁵. Parmi ces principes, selon Molières

l'Univers sensible a pu d'abord n'avoir été formé que d'un seul & même Espace homogène, ou partout semblable à lui-même, que l'on nomme *Matière* : *Etendue* en longueur, largeur & profondeur : *Impénétrable* ou capable d'impulsion : & *Divisible* en tant de parties qu'on voudra nommer *Corps*, & ces parties en d'autres parties, & ainsi de suite, lesquelles sont aussi des Corps bornés ou *figurez* de diverse façon¹⁰⁶.

Dès le commencement – la Création – la matière a été divisée par un « Agent général que l'on nomme *Force mouvante* » qui cause les figures, les mouvements des corps et leurs changements mutuels, une force qui se distribue « par la seule *Impulsion* »¹⁰⁷. Alors,

¹⁰² « Newtonianisme », *Encyclopédie*, t. XI (1765), p. 122b-125b.

¹⁰³ « Tourbillons », *Encyclopédie*, t. XVI (1765), p. 471a, p. 471b et p. 473a.

¹⁰⁴ Molières, *Leçons*, t. I, p. 3.

¹⁰⁵ *Ibid.*, p. 1-2.

¹⁰⁶ *Ibid.*, p. 4-5.

¹⁰⁷ *Ibid.*, p. 5-6.

on ne pourroit d'abord supposer dans l'Univers que de la matiere & du mouvement, qui se distribuât dans ses parties par la seule impulsion ; & entreprendre de déduire par ordre de cette simple supposition tous les effets que nous y admirons¹⁰⁸.

Des traités de Dortous de Mairan en 1717, de Gamaches en 1740 ou encore Le Corgne de Launay en 1743 s'ouvrent aussi sur l'identification de l'essence des corps à l'étendue¹⁰⁹. Ceci implique que « toutes leurs [les corps] 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 »¹¹⁰. Dans cet univers plein, la passivité de la matière – l'absence de mouvement spontané – entraîne que les phénomènes naturels ne se produisent qu'à partir d'un mouvement et des chocs de matières impénétrables. Ces principes premiers définissent une méthode où les explications physiques ne doivent pas s'écarter des « idées claires de l'étenduë, de la figure & du mouvement »¹¹¹, et où des « fluides subtiles » pénétrant les corps doivent être pris « comme cause[s] d'une infinité de phénomènes qui frappent nos sens »¹¹² : par exemple, lors du choc de corps, le rebond résulte « des corpuscules du fluide [l'éther] qui coule dans [leurs] canaux », corpuscules comprimés qui reprennent ensuite leur figure d'origine en se débandant comme des ressorts¹¹³ ; la congélation d'un liquide provient « d'autres corps ou [d']une autre matière » que ce liquide, à savoir l'éther qui s'échappant d'entre les parties solides du liquide les fait se rapprocher et former un corps dur¹¹⁴. Cet éther est la « source [...] de toutes les varietez de la Nature » et constitue le « ressort de la machine du monde »¹¹⁵. On retrouve ici les préceptes du mécanisme tels que figurant chez Descartes identifiant la matière à l'étendue et concevant l'univers plein ; la plupart de ces savants lui empruntent aussi l'idée de tourbillons de matière qui par leur révolution autour d'une étoile entraînent une planète.

En 1741, Le Corgne de Launay souligne que les « systèmes » des « Newtoniens » et des « Cartésiens » reposent sur des « principes généraux » qui sont « diametralement opposés » : pour les premiers, « le vuide & l'attraction » et pour les autres « le plein & l'impulsion »¹¹⁶. Ainsi, la matière et le mouvement composent « le monde de Descartes » tandis qu'« il faut, dans le monde Newtonien, considérer quatre choses, *l'impulsion, l'attraction, la matière & le vuide* »¹¹⁷. Jean (I) Bernoulli en 1734 appelle « partisans rigides de Newton » ou « partisans outrés » ces « M.^{rs} les Newtoniens » qui supposent le vide et « la vertu attractrice » donnée « si liberalement aux corps [...] qu'on l'entende ou non »¹¹⁸ ; vide et attractions sont les principes de « la Philosophie que désormais on peut appeler Angloise »¹¹⁹.

Keranflech écrit en 1774 que « les Cartésiens ne veulent rien davantage » que l'impulsion et la matière tandis que « les Newtoniens veulent, en outre, le mécanisme de *l'attraction, & le vuide* ». Or, si les deux premiers principes suffisent pour expliquer les phénomènes « il est contre toute méthode, & absolument contre toute philosophie, d'en admettre d'autres » : il faut les combiner et si le résultat qui s'ensuit s'avère insatisfaisant recommencer une autre combinaison, mais il ne faut pas introduire « d'autres causes, ni multiplier les principes » comme le font les « Newtoniens »¹²⁰. Par l'usage de cette économie de principes, Molières refuse aux « Neutoniens » l'accusation qu'ils pourraient porter à son encontre de fonder son système sur des hypothèses. Il remarque que « de tous les Phénomenes, celui qui est sans contredit le plus

¹⁰⁸ *Ibid.*, p. 6.

¹⁰⁹ Dortous de Mairan, *Dissertation sur la cause de la Lumière*, p. 20 ; Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 4-5 ; Le Corgne de Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 11 et p. 13.

¹¹⁰ Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 5. Voir aussi Dortous de Mairan, *Dissertation sur la cause de la Lumière*, p. 20-21.

¹¹¹ Dortous de Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 111.

¹¹² Dortous de Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1749), p.xvii.

¹¹³ Mazière, *Les loix du choc des corps à ressort*, p. 5.

¹¹⁴ Dortous de Mairan, *Dissertation sur la Glace* (1716), p. 1-2.

¹¹⁵ *Ibid.*, p. 2.

¹¹⁶ Le Corgne de Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 192-193 et p. 298.

¹¹⁷ Keranflech, *L'Hypothèse des petits Tourbillons*, p. 8-9.

¹¹⁸ Jean (I) Bernoulli, *Essai d'une nouvelle physique celeste*, p. 14, p. 23 et p. 33.

¹¹⁹ Bouguer, *Entretiens sur la cause de l'inclinaison*, p. 20.

¹²⁰ Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 81-82.

généralement connu, & que personne ne conteste, est l'effet de l'impulsion ou du choc accompagné des loix les plus générales du mouvement » données par Newton au début de ses *Principes* et par Molières dans ses *Leçons*, ce dernier livre ne visant qu'à « se procurer tous les moyens d'étendre solidement l'effet de ces loix »¹²¹. Puis l'exclusion du vide, et donc le plein, tient d'un « rabais des suppositions », Molières estimant « beaucoup plus simple » de ne supposer l'univers composé que d'un seul genre d'espace que de supposer deux espaces « totalement différens par leur nature », à savoir un espace géométrique (le vide) et celui défini par la matière dont l'essence est l'étendue¹²².

Le refus de l'attraction

Pour Le Corgne de Launay, les « vrais disciples de Descartes » n'accorderont jamais « l'existence d'un vide qui n'est rien de réel » et d'une pesanteur conçue autrement que comme une « propriété accidentelle à la matière », un corps ne pesant que parce qu'il est poussé¹²³. Les « Newtoniens » croient expliquer les phénomènes par « une attraction générale qui est, selon eux, l'ame de la matière » mais « tout est heureusement, & mécaniquement expliqué par le moyen des tourbillons Cartésiens »¹²⁴. Tout d'abord, l'attraction n'est pas une « propriété essentielle à la matière » car la matière se conçoit « clairement [...] sans y découvrir un vestige d'attraction »¹²⁵. Ensuite des « Newtoniens » – une note de bas de page indique « Voyez S'Gravesande & Muschenbroek, 1. vol. » – considèrent l'attraction comme « un décret général, une loi primordiale instituée par l'Auteur de la Nature » alors que les « Cartésiens » jugent que les lois du mouvement résultent des volontés générales de Dieu « pour la distribution des mouvemens dans le choc des corps »¹²⁶. Mais ces « Newtoniens » ne peuvent pas établir expérimentalement la vérité de cette loi alors que l'impulsion et ses lois s'observent. Ainsi, deux corps sur Terre ne s'approchent pas spontanément et il faut qu'ils reçoivent des impulsions. Face à cette absence de mouvement spontané la réponse « Newtonienne » consiste à soutenir le caractère insensible de cette attraction au regard de celle qu'exerce la Terre sur ces corps, mais ce raisonnement ne tient pas : si on cherche à s'assurer expérimentalement de l'action réciproque des corps entre eux il ne faut pas présupposer l'existence de l'attraction de la terre comme y invite cette réponse¹²⁷. Le Corgne remarque aussi que si les « Newtoniens » soutiennent que l'attraction existe « en qualité d'effet » alors « ils ne diffèrent de nous que parce qu'ils expriment une même chose, par un mot différent » : en somme, ils reconnaîtraient seulement des effets à l'instar des « Cartésiens » pour lesquels les lois du mouvement sont « arbitraires en elles-mêmes, du moins pour la plupart » et nécessitent donc des expériences pour être découvertes. Aussi,

on voit aisément [...] la grande différence qu'il y a entre les loix du mouvement que les Cartésiens admettent [...] & l'attraction Newtonienne ; car les premières sont clairement établies par une infinité d'expériences diverses, qui ne laissent aucun lieu de douter, que le mouvement ne se distribue selon certaines proportions, & selon des loix constantes. Mais il n'en est pas ainsi de l'attraction. Aucune expérience [...] ne peut servir à établir l'attraction, parce que quoique la tendance des corps les uns vers les autres, ne soit pas en bien des rencontres, l'effet d'une impulsion sensible, elle peut néanmoins toujours l'être de quelques impulsions, qui pour être insensibles, n'en sont pas moins réelles¹²⁸.

¹²¹ Ces « loix les plus générales du mouvement » évoquées par Molières correspondent à des lois générales de la mécanique rationnelle telles que le principe d'inertie, la composition de force, des règles du choc etc. Pour de telles lois, voir Newton, *Principes*, t. I, p. 17-35 ; Molières, *Leçons*, t. I, p. 9-76.

¹²² Molières, *Leçons*, t. IV, p. 567-568.

¹²³ Le Corgne de Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 29 et p. 316.

¹²⁴ *Ibid.*, p. 402.

¹²⁵ Le Corgne de Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 20.

¹²⁶ *Ibid.*, p. 21. Voir S'Gravesande, *Elemens de physique*, t. I, p. 23-24 ; Muschenbroek, *Essai de Physique*, t. I, p. 133-139.

¹²⁷ Le Corgne de Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 21-22.

¹²⁸ *Ibid.*, p. 23-24.

Ainsi, les « Newtoniens » appellent leurs adversaires « Cartésiens » à ne s'en tenir qu'à l'expérience mais, réplique, Le Corgne « nous nous en tenons là, & c'est par elle que nous les jugeons sans appel » ; elle prouve la pesanteur des planètes mais pas qu'elle provient de l'attraction¹²⁹. Keranflech demande : « Y a-t'il du vuide ? N'y en a-t'il pas ? Aucune expérience ne le peut décider. Mais la matière existe, sans contredit. Y a-t'il une attraction ? N'y en a-t'il pas ? Nulle expérience ne le décide. Mais l'impulsion est hors de doute » : d'une part, l'expérience n'apporte aucune certitudes sur les principes des « Newtoniens » contrairement à ceux de Descartes et, d'autre part, le vide de Newton implique l'émission de corpuscules de lumière dont les mouvements multiples rendent justement impensable cette lumière¹³⁰. A l'issue d'un raisonnement identique Le Corgne conclut que « le système Newtonien n'est précisément qu'un amas de vagues suppositions, & d'hypothèses imaginaires, qui mêmes ne s'accordent pas »¹³¹. Aussi, si « le sublime Newton » est « le plus grand Homme de l'Univers pour les effets » il est aussi « le plus petit pour les causes »¹³² :

On ne peut donc plus aussi, ni disculper le Newtonianisme d'une multiplication de principes, que le rend irrégulier & difforme aux yeux des Physiiciens ; ni concevoir comment de célèbres Philosophes, qui savent que la Philosophie n'a été décrassée qu'en simplifiant les principes, puisque c'est ainsi qu'on s'est débarrassé des formes substantielles, des qualités occultes, &c. se laissent si facilement engouer d'une composition de causes, qui tend encore à les replonger dans le même labyrinthe¹³³.

Cette dénonciation d'une réhabilitation des formes substantielles est récurrente sous la plume de Fontenelle pour lequel « les Tourbillons Cartésiens [...] se présentent si agréablement à l'esprit philosophique »¹³⁴. Alors que « Descartes & tous ses Sectateurs, ou plutôt tous les philosophes » avaient banni l'attraction elle revient « un peu déguisée » avec « Newton & ses Disciples » sous la forme d'une cause inconnue¹³⁵. Mais, d'une part, les principes cartésiens suffisent pour expliquer les phénomènes et, d'autre part, ils sont plus « clairs » :

Il ne paroît [...] pas nécessaire de supposer pour le Système de l'Univers des attractions qu'on ne peut pas concevoir, puisque des forces centrifuges bien constantes & bien avérées donnent tout ce que donneroient les attractions. On n'a pas besoin non plus de Vuide, puisque toute l'action des forces centrifuges s'exercera bien dans le Plein [...] Le Système général de Descartes mérite que non seulement la Nation Française, mais toute la Nation des Philosophes, soit disposée favorablement à le conserver. Les principes en sont plus clairs, & portent avec eux plus de lumière¹³⁶.

Dans son éloge de 1719 de l'académicien Rémond de Montmort, Fontenelle récuse les « Attractions, abolies, à ce qu'on croyoit, par le Cartesianisme, & ressuscitées par les Anglois » et affirme qu'

il est certain que si l'on veut entendre ce qu'on dit, il n'y a que des impulsions, & si on ne se soucie pas de l'entendre, il y a des Attractions, & tout ce qu'on voudra, mais alors la Nature nous est si incompréhensible qu'il est peut-être plus sage de la laisser là pour ce qu'elle est¹³⁷.

Les critiques que Jean (I) Bernoulli adresse dans le prix de l'Académie des sciences qu'il remporte en 1730 aux « Newtoniens » sont de la même nature. S'il distingue Newton de ses « Sectateurs outrés » comme Roger Côtes qui estime que la pesanteur est essentielle à la matière,

¹²⁹ *Ibid.*

¹³⁰ Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 84.

¹³¹ Le Corgne de Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 30. L'hypothèse du vide implique la transmission de la lumière par « emission » à savoir le mouvement d'une infinité de corpuscules à chaque instant ; « on ne peut faire [...] d'hypothèse plus contraire à la Physique » car comment ces corps se « traversent sans se déranger ni se nuire » ?

¹³² Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 85-86.

¹³³ *Ibid.*, p. 103.

¹³⁴ Fontenelle, *Sur les Figures que les Planetes prennent par la Pesanteur*, p. 95.

¹³⁵ Fontenelle, *Sur l'Attraction Newtonienne*, p. 112.

¹³⁶ Fontenelle, *Sur les Mouvements en Tourbillons*, p. 103.

¹³⁷ Fontenelle, *Eloge de M. de Montmort*, p. 91.

malgré tout il prône l'abandon du « Système de M. Newton » et ce « jusqu'à ce qu'il soit délivré de tout ce qui choque la saine raison » : « une cause purement mécanique » doit être substituée à l'attraction et la vide¹³⁸. Il faut recourir au « système des Tourbillons » bâti « sur des principes clairs & intelligibles » et basé sur la force centrifuge « reconnuë & admise comme un principe clair & intelligible » contrairement à la force d'attraction¹³⁹. Ce qui empêche notamment d'admettre dans « la Physique le système de M. Newton » sont ces deux « principes incompréhensibles » le vide et l'attraction¹⁴⁰. Gamaches évoque aussi ceux qui transforment en « loix primordiales » ou en « qualités occultes » les « principes cachés des faits » comme l'attraction et dénonce des « Partisans outrés » de Newton faisant de la pesanteur « une qualité attractive qu'ils jugent devoir être essentiellement attachée à tous les corps »¹⁴¹ ; Privat de Molières et Dortous de Mairan précisent que Newton ne fait pas de l'attraction une qualité essentielle¹⁴².

Lorsque Bouguer en 1734 rapporte une discussion confrontant un « Partisan zélé des attractions » à des « Cartésiens », il fait dire au premier que l'insuffisance des explications cartésiennes prouve « qu'outre les regles ordinaires de la Méchanique, il y en a quelqu'autre dans la Nature que vous ne connoissez pas » et qu'il existe des « loix de la Nature [...] paralleles » : l'attraction ne s'explique pas par les lois du mouvement et réciproquement. Les attractions sont « la volonté même de l'Auteur de la Nature » à l'instar des lois du choc et relèvent de la même « obscurité » : les lois du choc ne s'exécutent que par « l'efficacité que l'Etre suprême est Maître d'attacher aux loix qu'il établit » et « il se trouve une pareille obscurité dans les attractions »¹⁴³. Le raisonnement que Bouguer prête aux « Newtoniens » figure notamment chez Maupertuis en 1732¹⁴⁴. En 1774, la réponse apportée par Keranflech passe par une reconnaissance du caractère incompréhensible de la cause, qu'on se place sous l'hypothèse de l'attraction ou de l'impulsion, que les corps en eux-mêmes ne sont pas la source d'une action, et qu'« 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 ». Or, l'expérience atteste que l'impulsion et la matière existent comme deux « principes réels », idée défendue par les « cartésiens » et les « newtoniens » et, comme déjà remarqué, si ces principes suffisent aux explications « il est contre toute méthode, & absolument contre toute philosophie, d'en admettre d'autres »¹⁴⁵. En somme, l'expérience – qui pour Le Corgne de Launay invalide le principe de l'attraction – et une méthode basée sur l'économie de principes seraient garantes selon Keranflech du bien-fondé du mécanisme.

Pour résumer, tous les « Cartésiens » n'accusent pas les « Newtoniens » de réintroduire des qualités occultes : le rejet se porte à l'encontre de ceux qui feraient de l'attraction une propriété de la matière et est aussi de nature méthodologique. Au moins trois sortes de critiques permettraient de distinguer « Cartésiens » et « Newtoniens » au regard des principes qu'ils utilisent : 1/les principes du mécanisme seraient préférables car plus clairs ; 2/à eux seuls ils suffiraient à expliquer les phénomènes et cette science ne repose ainsi pas sur une multiplication de

¹³⁸ Jean (I) Bernoulli, *Nouvelles pensées sur le système de M. Descartes*, p. 6-7. Bernoulli dénonce certains « partisans de M. Newton » qui ne suivent pas « leur maître » et pour lesquels « le vuide & l'attraction sont des réalités dans la nature des choses », Jean (I) Bernoulli, *Essai d'une nouvelle physique*, p. 3. Newton précise dans ses *Principes* ne pas faire d'hypothèse sur la nature de l'attraction.

¹³⁹ Jean (I) Bernoulli, *Nouvelles pensées sur le système de M. Descartes*, p. 2 et p. 5. Voir aussi Jean (I) Bernoulli, *Essai d'une nouvelle physique*, p. 3-4

¹⁴⁰ Jean (I) Bernoulli, *Essai d'une nouvelle physique*, p. 4-5.

¹⁴¹ Gamaches, *Astronomie physique*, p. iiij et p. 348-352.

¹⁴² Molières, *Leçons*, t. II, p. 151-152 précise que Newton dans ses *Principes* considère les attractions, les répulsions et le vide comme des objets mathématiques et non physiques. Newton, *Principes mathématiques*, t. I, p. 7 écrit utiliser indifféremment les mots attractions et impulsions car « je considere ces forces mathématiquement & non physiquement ». Voir aussi Dortous de Mairan, *Dissertation sur la glace* (1749), p. xix et p. xxvj-xxvij. Pour autant, dans le *Journal de Trévoux*, Molières accuse aussi Newton de faire dériver des effets de l'attraction indépendante de l'impulsion et alors d'user du terme comme les anciens en laissant dans l'ignorance de la cause des effets. Voir sur ce point Borghero, *Les cartésiens face à Newton*, p. 116-118.

¹⁴³ Bouguer, *Entretiens sur la cause de l'inclinaison*, p. 20-22.

¹⁴⁴ Sur cette mise en parallèle des « obscurités » de l'attraction et de l'impulsion chez Maupertuis, voir la section 2.3 ci-dessus.

¹⁴⁵ Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 81-82.

principes ce qui serait une erreur méthodologique ; 3/l'expérience ne permet pas de valider l'existence du vide et de l'attraction érigée en loi « primordiale » alors qu'elle fonde des lois ayant l'impulsion pour fondement.

3.3.2. Physique causale *versus* physique expérimentale et géométrique

Ce refus de la science newtonienne parce qu'elle ne reposerait pas sur les principes du mécanisme s'accompagne d'une autre dénonciation : le « système de Newton » ne s'appuierait que sur les expériences et sur la géométrie.

Si « le système que Newton » propose est « un Chef-d'œuvre » par l'« enchaînement de principes d'où semblent éclore tous les Phénomènes de la Nature » et 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 [...] toujours équivoques » conduisent à des « erreurs », en l'occurrence la transformation en « loix primordiales » ou en « qualités occultes » des faits comme la gravitation¹⁴⁶. Ainsi,

ce n'est pas en effet 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 employe¹⁴⁷.

Seule la physique assimilée au mécanisme 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 », à savoir aux chocs. Cette physique, comme Gamaches l'illustre au sujet de la mécanique céleste, doit répondre aux « Principes que fournit la Philosophie Cartésienne, [qui] sont les seuls qu'on puisse adapter au Mécanisme Astronomique »¹⁴⁸. 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'Euclide, 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 sont pas mécaniques¹⁴⁹.

Pour Molières, une science bâtie sur les seules expériences conduit au « plus dangereux de tous les systèmes : le système des sens, qui les [philosophes] entraîne infailliblement à prendre l'apparence pour la réalité »¹⁵⁰. Il faut rapporter les faits aux « Loix des Mécaniques »¹⁵¹ et Molières récuse la « Phisique expérimentale » qui ne fait qu'« entasser expériences sur expériences, effets sur effets, sans se soucier d'en découvrir les causes »¹⁵². 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*¹⁵³.

Une dénonciation semblable 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 planètes mais Copernic « s'est attaché à la simplicité de

¹⁴⁶ Gamaches, *Astronomie physique*, p. ij-iiiij.

¹⁴⁷ Le Corgne de Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 2.

¹⁴⁸ Gamaches, *Astronomie physique*, p. i-iiiij.

¹⁴⁹ Molières, *Leçons de Physique*, t. I, p. v.

¹⁵⁰ *Ibid.*, t. II, p. 309.

¹⁵¹ *Ibid.*, p. 309-310. Cette critique contre une science purement expérimentale non conduite par le mécanisme est récurrente chez Molières, *ibid.*, t. II, p. 1-4 ; t. III, p. 117-126.

¹⁵² *Ibid.*, t. III, p. 123-124.

¹⁵³ *Ibid.*, t.II, p. 305.

la Nature & du bon sens»¹⁵⁴. Keranflech rapporte que 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'attraction¹⁵⁵ et les substituer par les « principes réels » que sont la matière et l'impulsion¹⁵⁶. La critique d'une physique qui aurait le défaut de n'être qu'expérimentale et dépourvue d'un système venant en unifier les acquis apparaît classique : le père Castel, rédacteur de recensions d'ouvrages de s'Gravesande et Musschenbroek dans le *Journal de Trévoux*, dénonce le manque d'« hypothèses » dans ces livres¹⁵⁷. Il faut préciser que ces critiques ne se portent pas tant à l'encontre de l'expérience en tant que telle que des expériences non informées par des principes mécaniques présumés¹⁵⁸.

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 » et il ne devient vraiment « physique » qu'une fois ses résultats interprétés par le mécanisme¹⁵⁹. Se rencontre alors des propos figurant dans *Journal des Savants* dès 1688 ou chez Malebranche en 1707 consistant à faire de Newton un mathématicien et non de physicien¹⁶⁰ :

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 [...] 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 ; sauroit été un Physicien. Mais il ne nous étale que ces effets mêmes : c'est un Naturaliste, & rien de plus¹⁶¹.

En 1774, Keranflech estime aussi 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*

¹⁵⁴ Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 88-89.

¹⁵⁵ *Ibid.*, p. 90.

¹⁵⁶ *Ibid.*, p. 81-82.

¹⁵⁷ Voir Borghero, *Les Cartésiens face à Newton*, p. 126-128. Il s'agit du tome premier de l'ouvrage de s'Gravesande, *Physices elementa mathematica* 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 ». Pour l'*Essai* de Musschenbroek, *ibid.*, 1739 (octobre 1739), p. 2112-2151, en particulier p. 2128-2130.

¹⁵⁸ Dortous de Mairan fait de nombreuses recherches expérimentales autour du froid et de la congélation mentionnées dans des articles de l'*Encyclopédie* de Diderot et D'Alembert, articles ne reconduisant cependant pas l'interprétation mécanique des phénomènes proposée par le savant : la distinction entre Dortous de Mairan et les encyclopédistes ne repose alors pas tant sur la méthode scientifique que sur « les finalités de la science ». Voir Chabot et Breteil, « La réception épistémologique ».

¹⁵⁹ Molières, *Leçons*, t. IV, p. 15. Comme évoqué plus haut, Newton considère les « forces mathématiquement » et non « physiquement ».

¹⁶⁰ Voir Malebranche, Lettre à Berrand, 1707, dans Malebranche, *Œuvres*, t. 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 savans* de l'année 1740 lors des recensions des ouvrages de Privat de Molières et Gamaches, voir Shank, *The Newton Wars*, p. 348-350. Pour ce jugement à propos des *Principes* de Newton de 1687 dans le *Journal des savans* de 1688, voir Guerlac, *Newton on the Continent*, p. 50-51.

¹⁶¹ Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 74-75.

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], la réflexion de dessus le vuide [la réflexion se produit au niveau des pores d'un corps, soit en l'absence de matière], le feu essentiel, & autres idées semblables¹⁶².

Il assimile ces « idées » à un « second péripatétisme »¹⁶³ car la géométrie sans mécanisme peut conduire à supposer des « êtres métaphisiques » des « vertus abstraites »¹⁶⁴ telle que la gravitation ; ce « naturalisme » invitant alors à considérer la matière douée de qualités ouvre la voie au matérialisme¹⁶⁵. Par ailleurs, selon Molières, cette « géométrie » pose cette autre difficulté d'être trop précise au point de ne pas s'adapter à la réalité des phénomènes¹⁶⁶. Par conséquent, 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 Phisique¹⁶⁷.

Mais interpréter les acquis de la science de Newton à l'aide du mécanisme requiert de réformer le système de Descartes afin de notamment répondre aux critiques faites à son encontre par le savant anglais.

3.4 Réformer Descartes

Etre « Cartésien » ne signifie pas suivre aveuglement le contenu des *Principes de la philosophie* de 1644 de Descartes. Ainsi Jean (I) Bernoulli estime en 1730 que le système des tourbillons « bien ménagé » permet d'expliquer les phénomènes et de répondre « aux objections les plus fortes qu'on a voulu faire valoir en Angleterre »¹⁶⁸. Il écrit aussi en 1734 voir dans les « deux systèmes donnés par Descartes & par Newton » des difficultés « presque insurmontables » et qu'« un juste milieu entre les deux » lui paraît « plus sûr »¹⁶⁹. Mais les révisions du système de Descartes ne sont pas seulement déterminées par les critiques de Newton. Par exemple, dès le XVII^e siècle Huygens réforme ce système et, pour sa part, Malebranche initie probablement la refonte la plus complète des *Principes de la philosophie*¹⁷⁰. Suivre la démarche de ce dernier et son héritage dévoile les motifs d'une telle réforme, et montre les dissensions au sein des « Cartésiens », ceci mettant en relief la pluralité des sens que recouvre le mot.

3.4.1 Le système de Malebranche

¹⁶² *Ibid.*, p. 48-49.

¹⁶³ *Ibid.*, p. 48.

¹⁶⁴ Molières, *Leçons*, t. II, p. 151.

¹⁶⁵ L'entrée « Histoire » du *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, observe qu'on donne ce nom « à ceux qui n'admettent point de Dieu, mais qui croient qu'il n'y a qu'une substance matérielle, revêtue 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.* »

¹⁶⁶ Pour Molières, les forces centrifuges dans les tourbillons sphériques suivent une loi d'évolution en proportion inverse des carrés des centres de révolutions, et « si ce n'est qu'à peu près » que les tourbillons elliptiques suivent cette loi, 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 ». Molières, *Les Loix Astronomiques*, p. 311.

¹⁶⁷ Molières, *Leçons*, t. II, p. 152. Voir aussi Le Corgne de Launay, *Principes du Système des petits Tourbillons*, p. 34.

¹⁶⁸ Jean (I) Bernoulli, *Nouvelles pensées sur le système de M. Descartes*, p. 2.

¹⁶⁹ Jean (I) Bernoulli, *Essai d'une nouvelle physique celeste*, p. 7-8.

¹⁷⁰ Pour la lecture critique de Descartes chez Huygens, voir Chareix, *La philosophie naturelle de Christiaan Huygens*, p. 89-144.

Malebranche rejette l'équivalence ontologique posée par Descartes entre mouvement et repos, Descartes concevant que Dieu conserve à chaque instant ces deux états et que les forces que les corps ont pour agir consistent en celles qu'ils ont pour conserver ces états¹⁷¹. Descartes explique alors la « dureté » d'un corps, autrement dit sa cohésion, par le repos mutuel de ses parties, la force de leur repos fondant l'explication¹⁷². Dès la première édition de 1675 de *De la recherche de la vérité*, Malebranche récuse que le repos soit à l'origine d'une quelconque force : il n'estime pas avoir la « certitude » que Dieu veuille par une « volonté positive » que le repos requiert autant d'action que le mouvement, mais voit dans ce dernier l'unique source d'une action et le seul principe explicatif des phénomènes naturels : l'état de repos se voit assimilé à une « privation » voire à un « néant »¹⁷³.

L'enjeu de cette critique dépasse le cadre d'une simple correction apportée à l'explication de Descartes de la dureté. En effet, cette force de repos participe aux règles du choc qui elles-mêmes régissent le comportement des trois éléments dont Descartes compose l'univers, éléments formant notamment les corps sensibles. Comme le souligne Malebranche, le système, ses principes et ses règles forment un ensemble cohérent :

M. Descartes sçavoit 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 rejussent 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 ne 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 [de la philosophie] depuis le commencement jusqu'à l'établissement de ses règles du mouvement : & s'accommodant fort bien avec la suite de ses mêmes principes, il croyoit que les règles du mouvement qu'il pensoit avoir démontrées dans leur cause, étoient encore suffisamment confirmées par leurs effets¹⁷⁴.

Par conséquent, récuser l'existence de cette force et la justesse des règles du choc de Descartes implique de repenser l'organisation de son système du monde et sa théorie de la matière. Malebranche voit dans ce « faux principe » que le corps au repos possède une force la source des maux de la physique de Descartes :

Je croi devoir avertir que ce qui gêne 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 règles 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 lumière & 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 influé presque partout dans son système¹⁷⁵.

Règles du choc élastiques et inélastiques, explication de la dureté – la cohésion de la matière –, nature et transmission de la lumière, explication des couleurs, chute des corps et mouvement des planètes, tels sont les domaines de la physique que Malebranche réforme notamment dans l'*Eclaircissement XVI* de la *De la recherche de la vérité* de 1712 en utilisant les petits tourbillons de matière subtile¹⁷⁶. Dans cet *Eclaircissement*, il écrit que

¹⁷¹ Descartes, *Principes de la philosophie*, art. 43, p. 88. Voir aussi art. 37, p. 84 sur la conservation des états par Dieu.

¹⁷² *Ibid.*, art. 55, p. 94.

¹⁷³ Pour ces analyses voir Malebranche, *De la recherche de la vérité*, t. II, p. 420-449. Pour un examen des réflexions de Malebranche sur ces questions, voir Robinet, *Malebranche de l'académie des sciences*, p. 87-110 ; Schmit, « Force d'inertie et causalité ».

¹⁷⁴ Malebranche, *De la recherche de la vérité*, dans *Œuvres*, t. II, p. 447.

¹⁷⁵ *Ibid.*, t. II, p. 449.

¹⁷⁶ Pour toutes les explications de Malebranche, voir Robinet, *Malebranche de l'académie des sciences*.

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 expliqué dans ses Principes de Philosophie : cette supposition [...] n'est point arbitraire [...] je suis persuadé que c'est le vrai principe de la physique générale dont dépendent les effets particuliers¹⁷⁷.

Ces tourbillons se substituent aux globules durs du second élément de Descartes, leurs interstices étant comblés par d'autres tourbillons plus petits, et ils s'équilibrent mutuellement *via* les forces centrifuges qu'ils génèrent par leurs rotations. Selon Malebranche

toute la Physique dépend de la connoissance de la matière subtile [...] 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 [...] tout se fait par le mouvement, & [...] la source du mouvement n'est que dans cette matière invisible¹⁷⁸.

Ces tourbillons compriment les parties des corps et assurent leur dureté. Leur compressibilité fonde aussi la propagation sous forme d'ondes de la lumière ou encore l'élasticité des corps. La rupture d'équilibre peut générer le feu, de même qu'un corps solide dans l'atmosphère tombe car il n'est pas équilibré par les tourbillons qui l'environnent puisque un même volume d'éther contient davantage de petits tourbillons¹⁷⁹. 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, le mouvement d'un corps solide reposant sur l'idée fondamentale que « toutes les parties de l'univers sont en équilibre ou tendent à s'y mettre » et sur un « principe general » 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 côtes » ; si les tourbillons compriment un corps davantage d'un côté que d'un autre, ils le mettent en mouvement vers cet endroit¹⁸⁰.

Privat de Molières, dans ses *Leçons de Physique*, développe considérablement cette théorie de Malebranche et suppose que les parties constituant un petit tourbillon ont la forme de petits tourbillons eux-mêmes pouvant se composer d'autres tourbillons plus petits. Pour Molières, il existe alors différents ordres de tourbillons comme pour les mathématiciens il existe différents ordres d'infiniment petits, les tourbillons d'un ordre donné s'équilibrant entre eux. Par ailleurs, Molières propose des mécanismes basés systématiquement sur ce qu'il nomme le « ciseau universel » à savoir, comme Malebranche, sur la rupture d'équilibre et le déséquilibre de petits tourbillons, et ce dans des domaines absents ou peu approfondis de *De la recherche de la vérité* notamment la chimie, le magnétisme et l'électricité¹⁸¹. Ces petits tourbillons figurent dans de nombreux écrits de savants remportant ou concourant à des prix tels que le père Mazzière, Dortous de Mairan et les académiciens lyonnais Lozeran du Fesc et Béraud, ou bien dans des traités de Le Corgne de Launay, Keranflech, Gamaches¹⁸². Pour ces auteurs « 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 étherée »¹⁸³.

Ce mécanisme, différent de celui de Descartes, semble donc initié dans un contexte de réforme interne à la philosophie mécanique elle-même, réforme qui ne paraît pas exclusivement déterminée par la critique des tourbillons faite par Newton. Par contre, cette révision apparaîtra

¹⁷⁷ Malebranche, *De la recherche de la vérité*, Œuvres, t. III, p. 270.

¹⁷⁸ *Ibid.*, p. 302-303.

¹⁷⁹ Pour un examen de ces explications, nous renvoyons à Robinet, *Malebranche de l'académie des sciences*.

¹⁸⁰ Malebranche, *De la recherche de la vérité*, Œuvres, t. III, p. 280 et p. 305.

¹⁸¹ Des explications de la méthode de Malebranche et Molières figurent dans les chapitres III et VI dévolus à Lozeran du Fesc et Béraud. Pour ce terme chez Molières, voir *Leçons*, t. III, p. 277.

¹⁸² Pour Lozeran du Fesc et Béraud, voir chapitres III et VI.

¹⁸³ Dortous de Mairan, *Dissertation sur la glace* (1749), p. xxvj.

pour certains comme une réponse possible à apporter à Newton et comme un moyen pour intégrer les résultats de ses *Principes mathématiques* au sein du mécanisme.

3.4.2 Les « cartésianismes anciens et modernes »

Les deux « cartésianismes »

Suite à une telle réforme, Keranflech évoque alors en 1774 « deux Cartésianismes ; l'ancien & le moderne »¹⁸⁴. Le premier consiste dans « le système des Tourbillons de Mr. Descartes, avec ses trois matières, subtile, globuleuse, & rameuse » et le deuxième repose sur la « transformation des trois matières cartésiennes en petits Tourbillons de divers ordres »¹⁸⁵. Keranflech écrit que cette opération s'effectua par degrés, commençant par Malebranche, se poursuivant par Molières qui « substitua, aux éléments du premier cartésianisme, trois ordres de petits tourbillons emboîtés les uns dans les autres ». Par ailleurs, « Mr. de Gamaches, au lieu de trois ordres, en supposa à l'infini » et « d'autres célèbres Académiciens ont adopté cette supposition, & l'ont sçavamment employée, en différens morceaux de Physique ». Cette « idée » correspond à « une extension », « un développement » du système de Descartes et non à « une nouvelle hypothèse » ; réforme nécessaire car « la raison & l'expérience l'ont désavoué »¹⁸⁶. Keranflech ne reproche pas à Newton de rejeter les explications de Descartes, mais l'abandon de la méthode de ce dernier consistant « à n'admettre que des idées claires, des causes mécaniques, & des explications uniquement déduites des figures, des configurations, & des mouvemens de la matière »¹⁸⁷. Il est possible de corriger et rectifier le système de Descartes en suivant de tels principes et sans utiliser ceux de Newton. Mais 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*¹⁸⁸.

Pour Molières, ce « Cartésianisme moderne » vise à « détromper les Cartésiens par leurs propres principes, de certaines erreurs dans lesquelles il les voyoit engagés »¹⁸⁹ ou encore, pour reprendre l'expression de Malebranche, à 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 l'examen des sujets trop composez »¹⁹⁰. Malebranche écrit devoir à Descartes « les sentimens que j'oppose aux siens »¹⁹¹ car les correctifs apportés à son système reposent sur l'application d'une méthode dont Descartes aurait livré les principes basée sur l'ensemble étendue-figure-mouvement et sur les règles de la méthode dont Descartes n'aurait qu'insuffisamment appliqué les préceptes. Pour Molières, la réforme entreprise se veut placée sous la bannière de la non-multiplicité des principes et sur le rejet de « principes faux » : sont reprochées à Descartes « ses suppositions », ce qui signifie ce qui est infondé au regard des principes mécaniques, à savoir la force attribuée au repos, la réflexion des corps sans cause physique – alors qu'il faut faire intervenir des petits tourbillons –, le mouvement jugé « confus » de sa matière subtile qui devrait entraîner des collisions des trois éléments entre eux au point que le mouvement dans le monde devrait se tarir¹⁹². Force de repos, réflexions, collisions etc. innervent l'intégralité du système qu'il

¹⁸⁴ Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 3.

¹⁸⁵ Ce que Keranflech appelle matière « globuleuse » correspond aux corpuscules durs du deuxième élément de Descartes et celle « rameuse » à la matière qui peut s'assembler pour former les corps sensible.

¹⁸⁶ Keranflech, *Observations sur le Cartésianisme moderne*, p. 4-7.

¹⁸⁷ *Ibid.*, p. 50.

¹⁸⁸ *Ibid.*, p. 51.

¹⁸⁹ Molières, *Leçons*, t. III, p. 461.

¹⁹⁰ Malebranche, *De la recherche de la vérité*, dans *Œuvres*, t. II, p. 340.

¹⁹¹ *Ibid.*, p. 449.

¹⁹² Molières, *Leçons*, t. I, p. 322 et p. 315-316.

faut alors repenser. La réforme repose sur l'énoncé des véritables « loix des mécaniques » tirées de la manière dont Dieu agit – le mouvement comme seule source de force et non le mouvement et le repos – mais aussi sur l'expérience :

Descartes n'avait pas eu occasion de bien considerer les phénomènes, qu'une longue attention aidée de sa Méthode, nous a montrés. Privé de la vûe des expériences, que ses disciples ont fait depuis avec un grand succès, & une sagacité merveilleuse, il n'avait garde de supposer dans la nature plus de mistere qu'il n'y en découvroit¹⁹³.

Or, les expériences contredisent « les loix du choc » de Descartes et le fait que « le simple repos [ait] une force » causant la dureté et la consistance des corps ; il s'agit là de « faux principes »¹⁹⁴. Puis le « troisième élément » de Descartes se définit essentiellement par « l'irregularité » des figures ou « la grosseur » des parties, soit « un effet produit sans précaution » : les « nouvelles observations » notamment dues aux microscopes informent d'une constance et grande précision dans les opérations de la nature lesquelles procèdent alors d'« un ordre très-déterminé dans les causes »¹⁹⁵.

Ainsi, un savant comme Malebranche prend pour « principe » la « base » du système cartésien à savoir 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 », tout en le perfectionnant « dans ses conséquences » en s'appuyant sur « un grand nombre d'expériences dont Descartes a reconnu la nécessité : mais qu'il n'a pas pu exécuter, parce que c'étoit l'ouvrage du tems »¹⁹⁶. Chez Descartes, la « science certaine » de la seconde partie des *Principes de la philosophie* laisse place dans les troisième et quatrième parties qui concernent le « monde visible » et « la Terre » à « une hypothese 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 entierement conformes aux experiences »¹⁹⁷. L'accord entre la déduction à partir des principes du mécanisme et les faits expérimentaux ne garantit 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 « hypothese »¹⁹⁸. Or, cette relation peut cheminer par d'autres parcours et transiter par d'autres étapes intermédiaires ; le mécanisme réformé de Malebranche et de ses successeurs serait un témoignage d'une telle évolution, lui-même pouvant aussi être réformé¹⁹⁹. La réforme de Descartes et la vérité du nouveau mécanisme reposent alors sur le fait de ne pas « multiplier les principes », pratique source d'erreurs²⁰⁰, sur la non-multiplication des causes car « la raison nous porte [...] à n'employer [...] que les seuls principes des mécaniques »²⁰¹, sur le recours à des expériences elles-mêmes guidées et ordonnées autour des

¹⁹³ *Ibid.*, p. 11.

¹⁹⁴ *Ibid.*, p. 11-12. En l'occurrence ce n'est pas la quantité de mouvement compté algébriquement mais scalairement qui se conserve pour Descartes.

¹⁹⁵ *Ibid.*, t. II, p. 11 et p. 16.

¹⁹⁶ *Ibid.*, p. 305-306. Sur la reconnaissance de la nécessité de ces expériences, voir Descartes, *Principes de la philosophie*, p. 17, p. 20 ; *ibid.*, art. 63 p. 235-236 sur le manque d'expériences pour vérifier des raisonnements concernant les grandeurs et figures de parties composant les métaux ; *ibid.*, 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 ».

¹⁹⁷ Descartes, *Principes de la philosophie*, 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 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.

¹⁹⁸ *Ibid.*, art. 43 et 44, p. 123.

¹⁹⁹ Il faut aussi noter que la réforme ne consiste pas seulement dans les cheminements déductifs mais aussi dans certaines de ses prémices, en l'occurrence l'abandon de la force du corps au repos.

²⁰⁰ La critique vaut notamment contre 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 mécanisme. Molières, *Leçons*, t. II, p. 25-26. 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 erreurs, en l'occurrence les règles du choc erronées de Descartes. *Ibid.*, t. II, p. 322.

²⁰¹ Molières, *Leçons*, t. IV, p. 5-6. Pour Molières ajouter une cause telle que l'attraction revient à multiplier les causes car tout est susceptible de s'expliquer par le mécanisme.

principes mécaniques. Cette vérité repose aussi sur la cohérence de l'ensemble déduit et donc du système physique : au sujet d'une éventuelle critique sur le fait qu'il y ait « trop d'arbitraire » dans son système, Molières écrit qu'

il suffit [...] 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 fondements²⁰².

Sur ce dernier point, il en serait ainsi comme dans les *Principes de la philosophie* lorsque Descartes évoque la métaphore du « chiffre » dont on sait l'avoir déchiffré lorsque l'interprétation d'ensemble donnée tient ; la cohérence du mécanisme proposé tient lieu de « certitude morale » quant à la vérité de la physique proposée²⁰³.

Dans ces conditions, Molières, Le Corgne ou Keranflech dénoncent les « Chimistes Cartésiens »²⁰⁴, les « cartésiens rigides »²⁰⁵, les « disciples trop zelés » de Descartes²⁰⁶, les « anciens Cartésiens »²⁰⁷. Bertier ne nomme pas les « défenseurs du plein *Cartésiens* » mais « Ethériens » ou « *Impulsionnaires* », distinction reposant sur le rejet « de la triple division des parties élémentaires du fluide qui emporte les planètes, & remplit les espaces interplanétaires » en « molécules solides appelées [...] *subtiles*, [...] *globuleuses*, [...] *striées* » par Descartes : ces « Ethériens » expliquent tout par une matière subtile différente de celle de Descartes²⁰⁸. Molières évoque « l'idée imparfaite que Descartes nous a donné du Mécanisme de la Nature »²⁰⁹, tout en ajoutant que la réforme consiste en « une simple extension » des tourbillons cartésiens²¹⁰. Il s'agit alors de ne pas s'attacher « si scrupuleusement » aux tourbillons introduits par Descartes, mais d'« en approfondir l'idée & la développer de plus en plus »²¹¹ ; ne pas suivre « servilement » Descartes qui ne pouvait pas tout « prévoir », même si « ses vuës générales sont si solides »²¹². Ainsi, cette réforme est contre Descartes et les « Cartésiens » et « en approfondissant ses (Descartes) principes », Molières écrit satisfaire à « toutes les Objections qui sembloient l'avoir [le système] accablé »²¹³ : « le système de Descartes rectifié » répond alors notamment aux critiques des « Newtoniens »²¹⁴.

Les nouveaux « cartésiens » et les réponses apportées aux critiques de Newton

Les objections de Newton concernent notamment l'impossibilité qu'une planète puisse être transportée par des tourbillons célestes ou qu'un corps dans un milieu de même densité puisse poursuivre indéfiniment son mouvement²¹⁵. Des mémoires de 1728, 1729 et 1733 de Molières, publiés dans les volumes de l'Académie royale des sciences de Paris, répondent directement à Newton. Molières montre que seules des couches composées de petits tourbillons peuvent former un tourbillon elliptique dont les couches respectent la troisième loi de Kepler, le Soleil en

²⁰² *Ibid.*, t. III, p. 285-286. *Ibid.*, t.II p. 18.

²⁰³ 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.

²⁰⁴ Molières, *Leçons*, t. II, p. 418. Contre ces « Chimistes » la critique se porte notamment sur les figures qu'ils supposent aux particules afin d'expliquer certaines réactions ; les chapitres III et VI pourtant sur les travaux de Lozeran du Fesc et Béraud reviennent sur ce type de critiques.

²⁰⁵ 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.

²⁰⁶ Molières, *Leçons*, tome I, p. 322. Il s'agit de ceux qui confèrent au repos une force et un mouvement « confus » aux éléments, et ceci comme Descartes.

²⁰⁷ Le Corgne de Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. xij. Il s'agit des « Cartésiens » qui s'en tiennent aux théories de Descartes.

²⁰⁸ Bertier, *Physique du Ciel*, t. I, p. 5-6. Bertier ne mentionne pas les savants qu'il regroupe sous ces termes.

²⁰⁹ Molières, *Leçons*, t. I, p. 322.

²¹⁰ *Ibid.*, p. 324.

²¹¹ *Ibid.*, p. ix-x.

²¹² *Ibid.*, t. II, p. 2-3.

²¹³ *Ibid.*, t. I, *Épître dédicatoire* non paginé.

²¹⁴ *Ibid.*, t. IV, p. 8.

²¹⁵ Ces critiques sont rappelées au début de la section 2 de la présente Introduction.

occupant un des foyers²¹⁶. Par ailleurs, il établit que pour un tourbillon sphérique les couches exercent des forces centrales sur les planètes qui suivent la loi de gravitation de Newton et que dans un tourbillon elliptique qui diffère peu du sphérique « il s'en faudra peu que ces forces ne soient dans le même rapport » et centrées sur un foyer²¹⁷. Au demeurant, l'éther composé de petits tourbillons ne résiste pas²¹⁸. L'absence de résistance du milieu et l'existence d'une force centrale avec cette loi d'évolution permettent à Newton de fonder les lois de Kepler et leur compatibilité entre elles : en rendant mécaniquement possible les trajectoires elliptiques et les forces radiales, Molières estime alors se placer dans les conditions requises pour les démonstrations de Newton qu'il suffit de reconduire. Pour Molières, Descartes conçoit l'univers comme un mécanisme perpétuel et Newton fonde ses principales propositions sur « les lois de la mécanique », c'est-à-dire que ses *Principes mathématiques* reposent sur des lois de la mécanique rationnelle. Mais Newton réfute le système du plein et les tourbillons de sorte que pour Molières « toute sa Physique n'est qu'un mécanisme, mais un mécanisme interrompu » ; réinstaurer « la continuité du mécanisme » passe par une réforme des tourbillons de Descartes et par l'introduction de causes mécaniques dans la science newtonienne²¹⁹. Ainsi, la science de Newton repose sur la mécanique mais il ne l'inclut pas dans un mécanisme. Pour sa part, en raison de l'absence de résistance de l'éther, Molières estime profiter de « tous les avantages du système du Vuide [de Newton], sans rien perdre des avantages du système du Plein » et réunir « par là deux idées qui avoient paru jusqu'à ce jour incompatibles »²²⁰. 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 avantageusement²²¹.

Au-delà de ces questions liées à la mécanique céleste, ce sont plus globalement les phénomènes physico-chimiques expliqués par des forces d'attractions que Molières cherche à intégrer dans le nouveau mécanisme des petits tourbillons²²².

Mais, écrit Molières en 1738, ce n'est pas parce qu'il réforme le système de Descartes et rejette en particulier « la force positive du repos » qu'il faut prétendre que lui-même et « les autres partisans du nouveau système, nous ne sommes pas Cartésiens »²²³. Ces nouveaux « Cartésiens » recourent au « tourbillon composé » et se distinguent d'autres « Cartésiens » comme par exemple Jean (I) Bernoulli qui recourt au « tourbillon simple »²²⁴ ; ce sont là les « Cartésiens d'aujourd'hui »²²⁵. Aussi, Molières est un « partisan zélé du système Cartésien » uniquement dans le sens où il recourt au plein et à des tourbillons pour transporter les planètes même s'ils diffèrent de ceux de Descartes ; le « système Cartésien » est fondé sur « l'impulsion & le plein »²²⁶. Pour Gamaches

²¹⁶ Molières, *Probleme physico-mathématique*, p. 235-244.

²¹⁷ Molières, *Les Loix Astronomiques*, p. 309. Pour cette loi dans les tourbillons sphériques, voir Molières, *Loix générales du Mouvement dans le Tourbillon Sphérique*, p. 245-267. Pour les trois mémoires évoquées de Molières, voir Brunet, *L'Introduction*, p. 157-165 et p. 241-245 ; Aiton, *The Vortex*, p. 211-215.

²¹⁸ Molières, *Leçons*, t. I, p. 367-404. Pour Molières, l'éther ne résiste pas car il ne pèse pas et l'univers est constitué par deux matières hétérogènes, l'éther sous la forme de petits tourbillons et les corps pesants dont les parties constitutives sont en repos mutuels.

²¹⁹ *Ibid.*, p. viij-xj.

²²⁰ *Ibid.*, p. 401-403.

²²¹ *Ibid.*, p. 402.

²²² Par exemple, il s'agit d'« expliquer mécaniquement tout ce que M. Newton a déterminé par l'expérience au sujet des couleurs dans son Optique », *ibid.*, t. II, p. 359. Les chapitres III et VI de ce livre consacrés à Lozeran du Fesc et Béraud reviennent notamment sur la substitution des forces d'attractions en chimie par les impulsions des petits tourbillons.

²²³ Le Corgne de Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 31.

²²⁴ *Ibid.*, p. 178-179. Les tourbillons « composés » correspondent aux grands tourbillons de Descartes composés de petits tourbillons ; les tourbillons « simples » ne comprennent pas de petits tourbillons.

²²⁵ Keranflech, *L'hypothèse des petits tourbillons*, p. 297.

²²⁶ Le Corgne de Launay, *Réponse aux Principales Objections*, p. 300 et p. 298.

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 distances²²⁷.

Molières écrit ne suivre Descartes « dans aucune de ses explications » tout en le considérant comme « le père de la vraie Physique »²²⁸. Mais, selon Molières, ceux qui abandonnent ses explications tels que Boyle, Malebranche, Huygens etc. « n'ont pas néanmoins cessé de se dire Cartésiens ». Il écrit que Descartes apprend à refuser les opinions sans examen et sur la simple autorité, et qu'il préconise d'en faire de même avec son propre système. Puis, Molières estime qu'il a manqué à Descartes les expériences, comme lui-même l'écrit, et il n'a alors donné qu'une « ébauche de la Physique ». Pour autant, s'il n'a vu la physique que de loin, « il l'a vûe très-réellement ». Descartes enseigne que ce que des philosophes prennent pour des qualités inhérentes à la matière – saveurs, chaleur etc. – s'expliquent par « la figure & le mouvement » ; il apprend à « distinguer ce qui appartient à l'âme de ce qui appartient aux objets de 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. Il apprend enfin « les regles qu'il faut suivre pour faire bon usage de son imagination dans la recherche de la vérité »²²⁹.

Enfin, dans son *Eloge* de Molières de 1742, Dortous de Mairan évoque un « esprit du Cartésianisme » qui reposerait sur l'usage du mécanisme, seul élément distinctif entre les « cartésiens » et les « newtoniens », les premiers admettant les découvertes de Newton :

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 reconnoîtroit-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 marc²³⁰.

En somme, ce propos réduirait les « Cartésiens » à ceux recourant aux fluides subtils comme causes des phénomènes. Une définition qui n'est pas sans poser difficultés, à moins de faire de Newton un « Cartésien ». En effet, ce même Dortous de Mairan rapporte en 1749, dans un texte essentiellement rhétorique, que Newton dans son *Traité d'optique* de 1718 fait d'un fluide élastique la cause éventuelle des phénomènes optique et de gravitation, au point d'écrire qu'il admet « tacitement » les petits tourbillons²³¹.

Pour conclure, ces « Cartésiens » se définiraient ainsi par l'usage du mécanisme lequel se fonde sur la matière conçue comme substance étendue, sur le plein et sur l'impulsion. Cet « esprit » est aussi marqué par le refus d'une parole d'autorité, par l'usage des règles d'une méthode pour diriger l'esprit et que Descartes lui-même n'auraient qu'insuffisamment appliquées, et par la conscience que, comme pourrait le dire Descartes, selon Dortous de Mairan, le mécanisme ouvre « une carrière sans bornes, & dans laquelle ceux qui commenceroient leur course où j'ai fini la mienne, iroient plus loin que moi »²³². Des « Cartésiens » récuse aussi que le repos soit la source d'une action et font du mouvement l'origine de toutes les forces, la matière subtile recevant alors la forme de petits tourbillons. Par ailleurs, contrairement à ce que laisse entendre la dernière citation de Dortous de Mairan, la famille de savants recourant à des fluides subtils ne constitue

²²⁷ Gamaches, *Astronomie Physique*, p. 13.

²²⁸ Privat de Molières, *Quatrième réponse de l'Auteur des Leçons de Physique*, p. 866-867.

²²⁹ *Ibid.*, p. 867-879.

²³⁰ Dortous de Mairan, *Eloge de M. l'abbé de Molières*, p. 200.

²³¹ Dortous de Mairan, *Dissertation sur la glace* (1749), p. xxvj-xxvij. Le passage en question correspond à la Préface du livre de Mairan lue en assemblée publique à l'Académie royale des sciences le 13 novembre 1748. Sur cette Préface qui fait l'éloge des systèmes en physique et les réactions qu'elle a suscitées de la part de D'Alembert, voir McNiven Hine, « Dortous de Mairan and Eighteenth Century Systems Theory » ; Le Lay et Rémy, « La *Dissertation sur la glace* (1749) », et Chabot et Breteil, « La réception épistémologique de l'œuvre scientifique de Dortous de Mairan dans l'*Encyclopédie* ».

²³² Dortous de Mairan, *Eloge de M. l'abbé de Molières*, p. 201.

pas un ensemble homogène et la notion de « système » semble une ligne de partage entre eux. Si l'académicien Jean Antoine Nollet (1700-1770) s'appuie sur des fluides notamment pour expliquer les phénomènes électriques, s'il loue cette méthode explicative des phénomènes due à Descartes, il dénonce aussi les abus de l'imagination liés aux systèmes. Il écrit en 1743 que depuis Descartes « la règle la plus généralement observée » consiste 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 »²³³ ; Nollet estime « plus 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 »²³⁴. Il ajoute aussi 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 matière dont l'existence sens 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 matière 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 matière qui nous éclaire, & qui nous fait voir les objets. Serait-on en droit de la contester, parce qu'il y a différentes opinions sur la nature de ses parties, & sur sa propagation ?²³⁵

Tout en s'appuyant sur le mécanisme, il s'agit donc 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 « manière distincte »²³⁶. L'usage de tels fluides n'est pas la marque de positions extrêmes de savants qui refuseraient coûte que coûte les principes de Newton. Nollet revendique l'usage des fluides parce que cela lui semble plus intelligible qu'une cause non mécanique, parce que l'expérience paraît indiquer leur présence, enfin parce que ce mécanisme lui paraît mieux expliquer certains phénomènes²³⁷.

Ces différents exemples illustrent que l'appellation « cartésiens » peut renvoyer à une dénomination large englobant des mécanismes distincts et l'usage sans précaution de ce terme peut masquer des différences de principes et méthodes explicatives et leurs raisons d'être. Ils illustrent les raisons pour lesquelles, tout en se réclamant du « cartésianisme » certains s'écartent de Descartes mais aussi d'autres « cartésiens ». Ces revendications ne sauraient être seulement réduites à des effets rhétoriques, mais illustrent l'importance de la réforme de Malebranche et les évolutions d'une théorie physique – le ou les mécanismes « cartésiens » – dont l'histoire au XVIII^e siècle demeure à écrire. Des débats sur la physique de Descartes présents à l'ABA et à l'ASBL, de même que ceux relatés dans la partie 2 ci-dessus au sujet de l'adoption de la science de Newton.

4. Les prises de position des savants lyonnais

Les registres des académies de Lyon à partir de 1714 et les dissertations qui les accompagnent

²³³ Nollet, *Leçons*, t. II, p. 454-455.

²³⁴ *Ibid.*, p. 473. Nollet se montre en particulier critique à l'encontre de l'usage des attractions et répulsions. Il souligne 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, ces « parties » qui composent un liquide s'attirent et mais 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.

²³⁵ *Ibid.*, p. 455-456.

²³⁶ *Ibid.*, p. 456.

²³⁷ Nollet souligne l'insuffisance de l'attraction pour expliquer les phénomènes capillaires en prenant l'exemple du savant anglais James Jurin (1684-1750) qui se voit contraint de recourir à l'éther de Newton et d'expliquer mécaniquement ces phénomènes. Voir Nollet, *Leçons*, t. II, p. 428.

constituent notre source principale. Les renseignements dont nous disposons à propos des deux autres centres de réflexion lyonnais de la première moitié du siècle, à savoir le Collège de la Trinité et le séminaire Saint-Irénée ne sont, en effet, que sporadiques. Mais de nombreux professeurs du collège jésuite sont aussi membres de l'une ou de l'autre académie et s'y expriment régulièrement. Voici, à grands traits, l'impression qui ressort de nos sources.

La plupart des savants et notables lyonnais qui ont laissé des traces de leurs intérêts pour les « Cartésiens » et les « Newtoniens » n'ont pas d'abord pour objectif de se positionner par rapport à Descartes, à Newton et à leurs « systèmes ». Ils cherchent à réfléchir à des questions littéraires, scientifiques ou techniques, générales ou particulières, et se trouvent alors confrontés à ces systèmes sur les terrains des mathématiques, de la physique, de la philosophie. Ils peuvent s'en inspirer sur l'un de ces terrains et non sur les autres, sans s'attacher à l'intégralité d'un système. Néanmoins, certains d'entre eux affirment des positions plus ou moins tranchées à leur égard.

Ces précautions étant prises, il nous semble se dégager à quelques nuances près la chronologie suivante :

1) Avant 1736, on note plutôt un éveil à la pensée et à l'œuvre de Descartes (encore face à Aristote) et un début d'étude de ce personnage et de ses disciples réels ou supposés, notamment Malebranche.

2) La petite décennie 1736-1744 témoigne à la fois d'une défense et illustration de Descartes, chez certains académiciens, et de doutes grandissants chez d'autres, surtout vis-à-vis de son système des tourbillons, et il se met en place une vraie discussion sur le newtonianisme et l'attraction universelle. L'année 1740 marque une coupure à l'intérieur de cette période, notamment en raison de départs et d'arrivées de plusieurs protagonistes importants.

3) Enfin, après 1744, ce débat est essentiellement dépassé, du moins en mécanique et en astronomie ; en revanche, il subsiste un intérêt pour les petits tourbillons malebranchistes dans les phénomènes plus locaux comme l'électricité, le magnétisme, domaines non encore mathématisés.

C'est ce que nous allons voir en évoquant les positions de divers acteurs. Les Chapitres I-VII qui suivent examinent en détail les attitudes et travaux de plusieurs d'entre eux, dans un ordre sensiblement chronologique.

4.1 Avant 1736

Nous ne disposons, pour cette période, que d'imprimés et de sources manuscrites relatives à l'Académie des sciences et belles-lettres (ASBL) qui, comme nous l'avons dit et contrairement à ce que son nom indique, s'occupe peu de sciences et encore moins d'arts mécaniques. Souvent, nous ne connaissons que les titres des dissertations lues et éventuellement un petit résumé.

Les deux personnages principaux, pour notre sujet, Claude Rabuel (1669-1728) et Philippe Villemot, font l'objet des chapitres I et II de ce livre, nous serons donc très brefs ici. Rabuel, jésuite, professeur au collège de la Trinité, s'intéresse aux mathématiques. Il a surtout pour but de comprendre, développer et expliciter la *Géométrie* de Descartes, et il n'est membre d'aucune académie. Villemot, passé un temps chez les jésuites, puis curé de la Guillotière, est connu pour sa théorie astronomique, c'est-à-dire son système des planètes exposé dans le cadre des tourbillons cartésiens, et c'est une figure importante de l'ASBL. Ces deux savants sont devenus célèbres et estimés par leurs ouvrages imprimés et bien diffusés. Ils influencent plusieurs générations d'élèves et de disciples. Henri Marchand, dit le P. Grégoire (1674-1750), Guillaume Rey (1687-1756), Jean-Baptiste Duclos, se réclament explicitement de Villemot. Ce rayonnement s'étend bien au-delà : par exemple, le système des tourbillons développé par Villemot, et en particulier sa justification de la troisième loi de Kepler, a même une influence importante sur Malebranche et sur Privat de Molières²³⁸. D'Alembert, dans l'article « Cartésianisme » de l'*Encyclopédie*, souligne l'importance du livre de Villemot (voir chapitre II).

Les registres de l'ASBL nous donnent de loin en loin l'écho de quelques interventions

²³⁸ Voir Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences* et chapitre II.

touchant notre sujet. Le 15 juillet 1715, le P. Étienne Lombard (1670-1753), jésuite, professeur au Collège de la Trinité, lit « une très savante dissertation sur l'infini ». La presse dit à ce propos : « ce qui lui [Lombard] a donné occasion d'écrire sur cette matière, est un Traité manuscrit de *l'Infini créé*, qu'on attribue à l'Abbé Terrasson » dont Lombard « a donné des louanges »²³⁹. L'Académie possède encore la réponse de son confrère Antoine de Serres, « De la conservation des êtres »²⁴⁰. Le 26 août 1715, Lombard prolonge sa réflexion par un discours sur l'infini, dont on n'a que quelques lignes de résumé ; le secrétaire (Claude Brossette) termine sa relation par : « Je n'acheve pas cet extrait, parce que la matière ne comporte pas d'être abrégée »²⁴¹, il en donne auparavant quelques idées vagues, comme celle-ci :

On ne peut non plus considérer l'infini co[mm]me un assemblage de toutes les perfections et de toutes les grandeurs : il n'y a point de proportion du fini à l'Infini. L'Infini a une simplicité parfaite, et n'a aucune composition. Le fini et l'Infini sont incommensurables. L'Infini est infini en tout sens.

Aucune allusion ici au calcul infinitésimal, il s'agit de philosophie, voire de théologie, d'ailleurs on lit aussi : « L'Infini n'est autre chose que Dieu même ».

Il y a une effervescence de discussions entre le 24 janvier et le 21 février 1718 sur des aspects philosophiques divers, proches de la physique et de la mécanique ou plus généraux, dans lesquelles Descartes est évoqué à plusieurs reprises.

Le 24 janvier, « Mr Du Perron de Ponsainpierre a lu un Discours sur un point de la Philosophie de Descartes ». Il s'agit de « réfuter mr Descartes qui dit que l'étendue et la matière sont une même chose ». Le résumé précise que Dominique de Ponsainpierre du Perron (1685-1755) pour réfuter Descartes

[n]a déclaré ne vouloir se servir de la preuve que l'on tire de l'existence du corps sacré de Jesus Christ dans l'Eucharistie, lequel y existe sans aucune étendue ; quoiqu'il pût tirer de cette preuve une conséquence infaillible contre la définition de Descartes. Mais il a dit que l'étendue, quoique essentielle à la matière, ne constituait pas l'essence de la matière, et que l'étendue convenoit aussi à l'espace, même vuide.

Le résumé se termine par : « Il a encore réfuté la définition et l'idée que Descartes et Rohault après lui, nous donnent du Mouvement ». On trouvera, d'ailleurs plus tardivement, en 1741 et de la part du père Lombard, une semblable critique sur l'identification cartésienne de la matière à l'étendue. En fait, la discussion est assez animée, ce que ne relate pas le registre, mais que montre la lettre du Président Dugas à Bottu de Saint-Fonds du même jour²⁴².

Le 7 février, Lombard lit « un discours dans lequel il donne une explication nouvelle de l'union de l'âme et du corps », le registre en donne un compte rendu assez long où l'on voit les critiques de l'auteur contre les Anciens, Descartes, Leibniz, le P. Tournemine, puis l'archevêque, Mgr de Villeroy, présent à la séance, reprend la question à sa façon. Le 14 février, Charles Cheinet (écrit aussi Chenet et Cheynet, 1668-1762) lit « une dissertation sur la Philosophie et la Religion » et il est précisé qu'à la séance suivante « on a fait diverses objections contre les propositions contenues dans le Discours de M. Cheinet », malheureusement sans rien dire de leurs contenus.

Le 16 mai 1719, Lombard lit « un discours sur l'âme des bêtes », s'opposant encore une fois à Descartes²⁴³. Ce jésuite, toujours très actif, continue ses remarques, on en trouve souvent des échos dans la correspondance du Président Dugas avec Bottu de Saint-Fonds. Par exemple, le 13 mai 1732, à l'invitation de Dugas, Lombard lit un discours sur la religion, loué et approuvé malgré l'article du règlement qui exclut les matières théologiques. Plus directement en prise avec notre

²³⁹ *Nouvelles littéraires*, t. 2, 10 août 1715, p. 82-84. Pour toutes ces informations, nous nous inspirons de la notice sur Lombard, rédigée par D. Reynaud dans le *Dictionnaire historique des académiciens de Lyon*.

²⁴⁰ Ms 229, p. 2-15.

²⁴¹ Sauf mention différente, toutes nos citations sont extraites des registres aux dates indiquées.

²⁴² Poidebard, *Correspondance littéraire et anecdotique entre Monsieur de Saint Fonds et le Président Dugas*, t. I, p. 78-80.

²⁴³ *Nouvelles littéraires*, t. 7, p. 361-363 ; t. 10, p. 261-262.

sujet était cet exposé du même, le 3 juillet 1731 :

Le P. Lombard a parlé sur les progres qui ont été faits dans la decouverte des Veritez par les nouveaux philosophes [Il a] dit 1° que les nouv.x ph-es n'avoient pas eu si grande raison de rejeter avec mépris tout ce qui a été avancé par aristote 2°. que plusieurs sentimens qui paroissent nouveaux dans les livres des Cartesiens avoient paru dans les Ecrits des anciens 3°. que la maniere dont ils expoisoient leurs nouveaux sentimens n'étoit pas pus avantageuse pour parvenir a la verité que celle dont se servoient les anciens.

Cet extrait montre parfaitement que tardivement, pour certains savants lyonnais, le débat ne se situe pas forcément entre Descartes et Newton, mais aussi entre Descartes et les Anciens.

D'autres interventions touchent des questions philosophiques liées aux sciences, mais nous ne savons pas vraiment si les idées de Descartes et de Newton y ont été mentionnées : le 4 avril 1720, par le R. P. Le Lievre « Sur les dangers de l'Emulation en matiere de sciences » ; le 12 juin 1723, par Regnaud, sur la politesse et les sciences ; le 1er juillet 1732, par Grollier, pour dire que « les sciences font l'ornement des Riches et la Richesse des pauvres ».

4.2 Période 1736-1744

Comme nous l'avons dit dans la partie 1 de cette Introduction, l'événement principal pour les sciences à Lyon se situe le 12 avril 1736, lorsque l'Académie des beaux-arts constitue une « Société des conférences » qui est une véritable académie des sciences. Les mathématiques, la physique dans toutes ses dimensions, les arts mécaniques y sont alors discutés systématiquement presque chaque semaine, et en détail. Ces académiciens le font à partir de leurs préoccupations propres, souvent plus techniques que spéculatives.

Or, à cette époque, les liens aux théories de Descartes et de Newton sont en ébullition dans tout le royaume : à l'Académie des sciences de Paris, dans le *Journal de Trévoux*, etc. N'oublions pas que diverses séances de l'ABA sont consacrées à la lecture de ce célèbre périodique jésuite, celles-ci pouvant toucher les réflexions sur Descartes et Newton, par exemple on étudie Privat de Molières qui prétend les concilier, ou l'abbé Desfontaines critiquant Newton²⁴⁴. Les discussions qui ont lieu à l'ABA ont aussi des retombées sur l'ASBL qui, en quelque sorte, se réveille un peu au sujet des sciences, sans doute face à la concurrence de sa cadette, sans doute aussi parce que certains savants sont (ou vont être) membres simultanément des deux compagnies.

C'est donc l'ABA qui mène le bal sur les questions scientifiques. Pour comprendre comment cette compagnie peut s'emparer des questions vives liées aux idées et systèmes cartésiens et newtoniens, il faut d'abord bien se pénétrer des objectifs qui ont rassemblé les douze membres fondateurs de cette Société des conférences. Nous avons donné, dans la partie 1.2, une présentation rapide de ces douze pionniers, on voit bien qu'il ne s'agit absolument pas a priori d'un cercle de philosophes. Les sept élus qui complètent cette société en 1736 et au tout début 1737 ont des profils un peu différents et aucun n'est membre des deux académies. Parmi ces académiciens, les deux derniers élus (Parisot et Guillaumat) sont médecins et n'entrent guère dans notre cadre d'étude. En revanche, les cinq premiers sont mathématiciens au sens large du terme, c'est-à-dire aussi mécaniciens ou astronomes, tous ecclésiastiques et éventuellement enseignants à divers titres, et les aspects théoriques font partie de leur univers, il faut donc en dire un mot.

Les ecclésiastiques élus à l'ABA

Le P. Jean Claude Ignace Morand (1707-1780), jésuite, professeur au collège de la Trinité, ne reste pas longtemps à Lyon, il part pour Marseille dès le 13 mai 1737, puis pour Avignon, où il jouera un rôle important ; nous verrons ci-dessous qu'il prend des options newtoniennes contre

²⁴⁴ Signalons les séances des 11, 18 et 27 août 1738, 9 février, 9 avril et 8 juillet 1739. Voir la partie 2 de cette Introduction pour des éléments contextuels et la partie 3 pour Molières et Desfontaines.

Duclos. Le P. Jean-Baptiste Duclos, jésuite, professeur au collège de la Trinité, connu pour ses *Elémens de mathématiques*, est un partisan décidé de Descartes, et quitte également Lyon assez tôt, en 1740, nous en parlerons plus longuement ci-dessous. L'abbé Etienne Dugaiby (1693-1767), vicaire de la paroisse de Sainte-Croix, est surtout spécialisé dans la géométrie pratique et comme le dit Bollioud à son sujet : « il ne s'accoutumoit pas à trouver la dispute mise à la place du raisonnement », il s'intéresse assez peu à la spéculation métaphysique. Henri Marchand, dit le P. Grégoire (1674-1750), du tiers-ordre de Saint-François est un mathématicien astronome et se situe dans la lignée de Villemot et de Duclos, nous en parlons plus longuement au Chapitre IV ; originaire de La Guillotière, il n'habite plus les environs de Lyon vers 1736 et va devenir un associé actif et non un titulaire. L'abbé Jean Ignace Cayer (1704-1754), un moment jésuite, puis chanoine de Fourvière, proche du P. Grégoire, effectue des calculs astronomiques et s'intéresse à toutes sortes de questions de physique où il prend parti pour Descartes, comme nous le verrons un peu plus loin.

On devine donc déjà que les premières discussions portant peu ou prou sur les théories de Descartes et de Newton vont plutôt être le fait de Mathon, de Cheinet ou des ecclésiastiques que les fondateurs se sont adjoints. Nous verrons au Chapitre V, consacré à Mathon, les discussions autour de l'harmonie qui, si elles ne portent pas explicitement sur notre sujet, l'éclairent néanmoins et introduisent dans le jeu un personnage extérieur à Lyon, mais fondamental pour ces questions, le P. Castel. Commençons par nous pencher sur Duclos et Morand.

Les P. Duclos et Morand

Dès le 25 avril 1736, Duclos donne des observations astronomiques et celles-ci sont publiées dans le *Journal de Trévoux*²⁴⁵. Le 9 mai :

Le R.P. Duclos a prononcé un discours par lequel après avoir fait son remerciement sur sa réception à l'Académie il a proposé de lui dédier comme académicien le Livre des Elémens de Mathématiques qu'il va donner au public ; son discours contient l'analyse de son ouvrage, dans lequel son 5^e livre renferme dans une page tout le 5^e d'Euclide ou il est traité des proportions. il a lu le plan ; et démontré à l'Assemblée son 7^e livre, et l'on voit qu'il a réussi dans le dessein qu'il a d'épargner à l'avenir le temps et la peine à ceux qui commencent.

On note tout de suite son implication à fond dans l'ABA, mais aussi sa volonté d'aborder les mathématiques et l'astronomie tant par la théorie que par les observations. Le 18 juillet 1736, apparaît une nouvelle intervention très caractéristique de sa démarche : développer un point de vue cartésien, mais corriger les erreurs de ce grand homme en cherchant les origines de celles-ci (on sait en effet que les lois du choc de Descartes sont presque toutes fausses) :

Le R.P. Duclos a lu un mémoire dans lequel après quelques réflexions sur le mouvement local, il établit les principes et entre dans le détail des lois de la communication du mouvement. L'ordre et la méthode qu'il a gardé en distinguant tous les cas, lui ont fait éviter ce qu'il y a quelques fois d'obscur, d'équivoque, et de faux dans la plus part de ceux qui ont traité cette matière. il finit par un examen précis des règles du mouvement qu'a donné Descartes, et il découvre qu'elle a été la source qui l'a jeté dans l'erreur.²⁴⁶

Or le 1^{er} août 1736, Morand qui a déjà lu le 16 mai un mémoire de balistique²⁴⁷, en lit un autre sous le titre « Sur les mécaniques développées dans leurs principes et dirigées par la Théorie des mouvements composés »²⁴⁸. Si on en regarde le contenu, on voit que, pour les bases de la mécanique, Morand se range explicitement du côté de Newton. Cette passe d'armes à peine

²⁴⁵ *Journal de Trévoux*, xii (octobre) 1736, p. 2176-2184.

²⁴⁶ Le manuscrit complet est conservé (Ms 209 f. 13-18).

²⁴⁷ Mémoire sur le jet des bombes et sur la manière de résoudre tous les problèmes de balistique, 16 mai 1736 (Ms155 f° 1-8).

²⁴⁸ Ms 209 f° 6-12.

voilée nous montre bien que la Compagnie de Jésus n'est pas un bloc monolithique. Malheureusement pour nous, Morand est bientôt muté dans le sud du royaume, puis en Avignon dans les Etats du Pape, où il va se livrer à des activités très importantes (canaux, barrages, etc.) en plus de son enseignement et nous ne pouvons pas suivre davantage la discussion entre nos deux jésuites.

Le 9 mai 1738, le Président Dugas assiste « à un exercice que le P. du Clos, professeur de mathématiques, fit faire publiquement par deux jeunes écoliers de philosophie, dans la salle du collège ». La question examinée est celle de la figure de la Terre, qui agite alors tout le monde savant. Le roi et l'Académie des sciences ont envoyé deux expéditions au Pérou et en Laponie pour effectuer les mesures permettant de trancher entre ces deux formes, une Terre allongée aux pôles comme le suggèrent les mesures géodésiques faites en France essentiellement sous la direction de Jacques Cassini, une Terre aplatie suivant la théorie de Newton et voici ce que constate Dugas :

Ceux du Nord sont revenus et ont dit que leurs observations favorisent le sentiment de Newton. Mais on n'a pas encore vu le détail de leurs observations et de leurs raisonnements. Ceux du Midi ne sont pas encore de retour et, en attendant, le P. du Clos s'est déterminé pour le sentiment de M. Descartes et de M. Cassini. C'est celui que soutinrent les deux jeunes philosophes.²⁴⁹

On voit ici que Duclos soutient contre vents et marées des points de vue cartésiens et les fait adopter à ses élèves. On pourrait multiplier les citations qui montrent cette détermination de Duclos à propos des systèmes du monde.

Charles Cheynet

Nous avons déjà évoqué Charles Cheynet, membre précoce de l'ASBL. Il est aussi l'un des fondateurs de la Société des conférences de l'ABA. Il vit 96 ans, c'est donc, en quelque sorte, l'une des « mémoires » des deux académies de Lyon. Sa première intervention dans cette dernière compagnie, le 17 août 1736, est intéressante à plus d'un titre : elle porte sur la *Géométrie* de Descartes et sur l'histoire de cette science depuis lors²⁵⁰. Il précise d'emblée que c'est lui qui a choisi le sujet, il reporte à ses discours ultérieurs les considérations sur l'utilité de cette science « dans tous les arts », préférant ici insister sur le côté intellectuel et formateur : « rien n'est capable comme l'étude de cette science de rendre l'esprit ennemy du faux » (f. 80). Il présente ensuite les 119 pages in-4° composées de trois livres de la *Géométrie* de Descartes, à savoir ce que nous appelons aujourd'hui la géométrie analytique, et note : « Avant monsieur Descartes personne ne s'étoit avisé de se servir de la science des nombres dans la geometrie » (f. 81r) ; il défend ce « chef d'œuvre de l'esprit humain » face à ceux qui s'en étaient moqués (f. 82). Vient ensuite ce passage original :

Il se fit je ne scay combien de commentaires de son vivant pour donner du jour a sa geometrie qu'il avoit suivant ce que nous avons dit obscurcie de desseïn premedité, il s'en est fait apres sa mort de tres bons, mais le meilleur de tous & le plus complet, est celui du R.R.P. Rabuel auquel cependant cet habile geometre ne put cependant [sic] donner la derniere main, mais par les soins du R.P. L'epinasse tout a été suplée. il seroit a souhaitter qu'on eut laissé finir au R.P. Brun le petit commentaire qu'il etoit pret de donner [...] (f. 83r)²⁵¹.

Cheynet précise que le P. Jean Brun, jésuite (1660-1719), professeur au collège de la Trinité, qui lui donnait des explications de temps en temps sur les mathématiques, fut obligé, sans doute par

²⁴⁹ Ce témoignage figure dans une des lettres de Dugas à Bottu de Saint-Fonds, publiées en 1900 par Poidebard, *Correspondance littéraire et anecdotique entre Monsieur de Saint Fonds et le Président Dugas*, t. II, p. 296-297.

²⁵⁰ Ms 208-I f. 79-86. L'auteur la prolonge chaque année par des explications assez élémentaires sur l'algèbre et sur son application à la géométrie: Ms 198 f. 92- (18 mars 1737), Ms 202 f. 50-57 (7 juillet 1738), Ms 198 f. 24-29 (1er juillet 1739) et Ms 202 f. 58-64 (21 janvier 1741).

²⁵¹ Sur Rabuel et sur Lespinasse, voir chapitre I de ce livre.

ses supérieurs, de vaquer à d'autres tâches. Notre académicien consacre la suite de son mémoire à « la géométrie des infinis ». Il estime que la première idée remonte à Descartes lui-même et, s'il évoque Fermat, Pascal, Barrow, Newton, Leibniz et l'Hôpital, il considère pour l'essentiel ceux-ci comme des suiveurs de Descartes. Il explique alors simplement les calculs différentiel et intégral, en donnant cette appréciation :

on n'a je pense plus rien à souhaiter pour l'intelligence & l'application du calcul, la méthode en est universelle : trouvera-t-on son inverse ? C'est ce que l'on cherche, & ce qu'on ne trouvera jamais suivant toutes les apparences, c'est à dire qu'on a trouvé l'art de prendre une quantité infiniment petite d'une quantité déterminée, & voilà ce qui regarde le calcul différentiel ; il s'agit de trouver l'art, ayant cette quantité infiniment petite toute seule d'assigner la quantité déterminée dont elle fait la différence infiniment petite [...] (f. 84v-85r)

Il ajoute qu'on fait de nouvelles découvertes sur des cas particuliers et signale avoir été informé d'une prétendue méthode « universelle en apparence » :

Monsieur Rey & moi après l'avoir examiné séparément, nous vîmes l'un & l'autre que ce n'étoit qu'un paralogisme. (f. 85r)

Cheyne avoue mal lire le latin et ne pas avoir fait de géométrie depuis 25 ans, mais il nous donne une information étonnante sur un ouvrage qu'il n'a pas lu :

Celui qui a poussé le plus loin ses découvertes c'est un anglais Mr Chenoeur²⁵² [?], son ouvrage arrêta l'édition du livre du R.P. Renaud [lire: Reyneau] plus de six mois, & je ne doute que cet ouvrage ne lui aye beaucoup servi pour tout ce qui a rapport au calcul intégral dont le R.P. Renaud traite assez au long ; le R. P. Rabuel a qui je l'avois prêté me dit qu'il ne croyoit pas que l'on put gueres pénétrer plus avant dans ces calculs infinis ; je ne vous dirai rien de cet ouvrage je ne l'ay pas lu, & je ne pense pas de le lire de ma vie, il est en latin, & je ne connois pas assez cette langue pour lire [...] (f. 85)

Il termine en réaffirmant la supériorité des modernes sur les anciens. Ce mémoire un peu naïf, et qui sous-estime évidemment les découvertes remarquables des successeurs de Newton et Leibniz, notamment des Bernoulli, a le mérite de nous montrer ce qu'un académicien lyonnais cultivé et intéressé par les mathématiques pouvait posséder comme points de repère au moment fort des débats sur Descartes et Newton et comment circulait l'information sur ces sujets.

Les associés de l'ABA

Il faut dire ici un mot des associés de l'Académie des beaux-arts. Dans les premières années, de 1736 à 1740, cette compagnie ne nomme que six associés, mais ils y sont très liés ; ensuite, il s'agira de plus en plus de membres qu'on pourrait considérer comme honoraires et dont seuls quelques-uns ont des liens étroits avec les travaux de la compagnie. Les six premiers sont le P. Grégoire, le P. du Chatelard (jésuite de Toulon et apparenté à Louis Borde), Chrétien-Louis Moegling (médecin de Tübingen), dom Charles Hebert de Quincy (membre de l'Institut de Bologne), Lozeran du Fesc (de Tournon) et Joseph Goeffon (curé et principal de Thoissey).

Ces associés échangent de nombreuses correspondances avec un ou plusieurs membres titulaires de l'académie, ils envoient des observations astronomiques et météorologiques ou des ouvrages. Nous nous intéresserons plus loin à deux d'entre eux. Le P. Grégoire (1674-1750), élève de Philippe Villemot, a 62 ans en 1736 au moment de la fondation de la Société des conférences et, depuis peu, n'habite plus La Guillotière, mais Arbois. Il a eu une influence importante jusque là, notamment sur Cheynet, Cayer et Louis Borde. Nous lui consacrons le Chapitre IV et nous ne

²⁵² Nous n'avons pas réussi à identifier cet auteur. Peut-être s'agit-il de Georges Cheyne (1671-1743) auteur d'une *Fluxionarium methodus inversa* bien que ce livre date de 1703, l'ouvrage du père Charles René Reyneau (1656-1728), *Analyse démontrée* étant, pour sa part, publié en 1708.

l'évoquerons donc ici que très brièvement. Le P. Louis Antoine Lozeran du Fesc (1697-1755) est l'objet du Chapitre III, nous y renvoyons le lecteur, mais il faut déjà noter ici que c'est Mathon qui propose son association, comme le montre une lettre de l'intéressé datée du 7 juillet 1738, l'élection étant décidée le 11 août. Alors que Lozeran défend des positions « cartésiennes », c'est le « newtonien » Mathon qui le fait entrer à l'ABA. Insistons sur le fait que leur travail est considéré comme associé à part entière à celui de l'académie et non comme extérieur ; les deux chapitres que nous leur consacrons ne sont donc pas artificiellement rattachés à l'histoire lyonnaise.

L'abbé Cayer

L'abbé Cayer, de trente ans cadet du P. Grégoire et son disciple, joue un rôle important dans le paysage scientifique lyonnais. Dans ses premières années à l'ABA, il lit des mémoires dont nous n'avons pas les manuscrits²⁵³, mais seulement des évocations dans les registres : « Essai sur la physique expérimentale », le 20 janvier 1738 (pour Descartes, contre les Anciens) ; « Principes physiques sur les lois du mouvement », le 21 juillet 1738 ; « Mémoire sur les météores », le 10 juin 1739. Le premier dont nous ayons le texte entier s'intitule « Recherches sur la cause physique des vents », il est lu le 6 avril 1740 et à la séance publique du 7 décembre 1740²⁵⁴. Il y exprime une façon malebranchiste d'aborder la question. Avant d'aborder le cœur du sujet, l'abbé note le contraste entre les éclipses dont on peut prévoir l'arrivée mille ans à l'avance et les vents qui nous surprennent en permanence, puis il développe quelques considérations générales sur la physique, sur les places respectives de la démonstration, du doute et des conjectures. Il insiste sur le mouvement par contact, puis décompose cela en mouvements circulaires et tourbillons :

il n'est point de physicien, qui ne sache que tout mouvement qui persevere est un mouvement de tourbillon : en effet le mouvement circulaire est celui dont la communication, & la perte par consequent, est la moindre de toutes, il ne cesse que quand son cercle s'étend, & que sa force se perd : c'est précisément ce qui arrive à l'air agité. cet air en comprime d'autre, qu'il contraint de s'élever, de refluer par la partie supérieure, de prendre la place du premier ; & voila le tourbillon. ce tourbillon est au reste plus ou moins vif plus ou moins étendu suivant le plus ou moins de force de l'agitation : plusieurs couches font son épaisseur, & il est luy même composé d'une infinité de petits tourbillons, qui sont tous entraînez de même côté par le mouvement du grand [...] (f. 83v).

L'auteur ne prend pas position sur les causes des tourbillons et rend compte de quelques propositions de divers physiciens dont il ne donne pas les noms. Une grande partie du mémoire contient des descriptions géographiques des vents à travers le monde.

Le rôle de l'abbé Cayer ne se limite pas à une activité académique interne. Cet auteur vise l'instruction la plus large du public, c'est pourquoi il se lance, dès 1740, voire plus tôt (des commissaires de l'ABA sont nommés le 7 septembre 1740 en vue de la publication), dans des calculs précis pour les éphémérides à Lyon. Il lit à l'ABA le 17 mai 1741 un remarquable mémoire, prélude à une transformation de l'*Almanach de Lyon*. Cet annuaire, fondé en 1711, donnait des renseignements pratiques, administratifs, religieux et politiques sur Lyon, mais il n'évoquait ni les collèges, ni les académies et ses indications sur les couchers du soleil, de la lune restaient sommaires et bruts, non expliqués. Une réorganisation a lieu dans l'édition pour 1742²⁵⁵ et Cayer entreprend de publier en feuilleton, sur quelques années, un véritable cours d'astronomie populaire (cent ans avant Arago) avec des tables détaillées : « nous joindrons chaque année à cet ouvrage des dissertations courtes & faciles, qui dans la suite pourront composer un cours aisé de Physique & d'Astronomie, qui ne passera pas l'intelligence des personnes qui [...] » (*Almanach*

²⁵³ Il est possible que ces manuscrits aient été utilisés pour la publication que nous évoquons plus bas.

²⁵⁴ Ms228 f°82-86 (titre original : « Observations géographiques sur les vents »).

²⁵⁵ Tous ces almanachs, aux titres variables, sont en ligne sur le site « gazetier-universel.gazettes18e.fr ». Celui pour 1742, qui paraît donc à la toute fin 1741 s'appelle *Almanach astronomique et historique de la ville de Lyon pour 1742*. Il s'ouvre par un « Discours préliminaire sur l'astronomie, par Mr Cayer, Chanoine de Fourvière », p. v-xiiij.

astronomique, 1742, p. xiiij). Malheureusement, il va se heurter à l'hostilité de bourgeois utilitaristes qui méprisent ces visées intellectuelles et son projet va s'étioler dans les numéros suivants. Cayer cherche d'abord, dans ce projet, à combattre les superstitions relatives aux astres, à la Lune, et reste prudent sur les débats théoriques en cours relatifs à l'astronomie, ainsi présentée : « j'entends celle qui sans embrasser aucun système ne s'attache qu'à supputer le mouvement des astres » (p. vij). Malgré tout, peut-être existe-t-il une réticence vis-à-vis de l'attraction que pourrait suggérer le passage suivant :

la Lune éclaire nos nuits ; voilà son unique employ, à moins que par grace singuliere on ne lui laisse encore celui de présider sur le flux & le reflux de l'Océan (p. vi)

Rappelons que nous sommes précisément au moment du prix de l'Académie des sciences de Paris (1740) sur les causes du flux et du reflux de la mer (voir 2.1). À Lyon même, la double attraction du soleil et de la lune n'est pas considérée par divers académiciens comme une explication valable, ainsi que le montre par exemple un mémoire de Besson en 1745²⁵⁶.

C'est l'abbé Cayer qui fait élire Jacquier et Le Seur, commentateurs des *Principia* de Newton, proposés le 26 avril 1741 et élus le 4 mai. On note une nouvelle fois ici que le fait d'être « cartésien » n'empêche aucunement la plupart des académiciens lyonnais de contribuer à la connaissance des théories de Newton et à la notoriété de ceux qui les diffusent²⁵⁷. Nous révoquerons Cayer dans la troisième partie, après 1744.

Discussions à l'ASBL jusqu'en 1739

De 1736 à 1739, on note dans les registres de l'ASBL un certain regain d'intérêt pour les questions philosophiques liées à la connaissance, et au moins indirectement pour les idées de Descartes. Il est probable que cette compagnie est sensible d'une part aux débats qui agitent la république des lettres à cet égard et aussi à la concurrence de son académie sœur.

D'une part, les 12 juin 1736 et 19 mars 1737, Cheinet lit des discours sur la *Géométrie* de Descartes et sur l'algèbre ; les courts résumés qui figurent dans les registres nous montrent que les contenus de ces exposés sont voisins de ce que le même auteur lit à l'ABA. Des « réflexions sur la liaison de la musique avec les autres sciences » sont lues par de Glatigny, avocat général, mais nous n'avons pas d'autres précisions. Nous possédons un peu plus d'informations sur les interventions du P. de Colonia (26 février 1737), du P. Lombard (21 mai 1737) et de du Perron (29 avril 1738 et 9 juin 1739). Elles touchent d'abord au pyrrhonisme et aux différents degrés de doute en philosophie de la connaissance. Ainsi, pour Colonia :

on peut diviser les opinions sur le pyrronisme en trois classes, la première est sage modérée et conforme à la raison et à la religion, la seconde est outrée, la troisième est criminelle [...] Ce dernier pyrronisme est le plus dangereux de tous, il est également contraire à la religion, au bon sens, et aux progrès des belles lettres.

Nous n'avons pas de résumé de la position de Lombard, mais celle de du Perron correspond à ce qu'on pourrait appeler un scepticisme gradué :

M. Duperron a lû un discours par lequel sans s'attacher servilement à l'opinion de Sextus Empiricus qui pensoit qu'il falloit douter de tout, il est établi qu'il est peu de choses dont il ne faille douter. La certitude que nous avons de ce qui est à la portée de nos connoissances, peut estre divisée en 24 Karats ou degrés de certitude, ou en parlant suivant le langage ordinaire en 24 parties. La certitude de nostre propre existence est du nombre de celles qui renferme les 24 degrés de Verité. L'existence des

²⁵⁶ Ms 228, f. 36-42 (3 novembre 1745). L'auteur attribue ce phénomène aux mouvements des fleuves.

²⁵⁷ On trouvera les lettres relatives à ces élections et les correspondances qui ont suivi dans l'ouvrage en cours de parution sur François Jacquier (*François Jacquier. Un savant des Lumières entre le cloître et le monde*) sous la direction de Pierre Crépel et Gilles Montègre (2017).

corps et l'étendue de la matière est à 23 Karats d'évidence. Selon Aristote, la matière est ce dont on ne peut dire ce que c'est. Suivant Locke [Locke], on ne sait si la matière est un mode ou une substance.

Il est peu probable que le doute cartésien n'ait pas été évoqué dans ces séances, mais les procès-verbaux n'en disent pas davantage.

Le 9 juin 1739, du Perron lit des « observations sur les nouvelles opinions des philosophes au sujet de la physique moderne ». Il s'agit de considérations sur la lumière, l'air et le feu, un peu vagues et anciennes, nous semble-t-il, où l'auteur affirme notamment que « l'eau et les liqueurs ne sont pas des liquides » parce qu'elles « sont exposées à la gelée ».

À partir des années quarante, les débats à l'ASBL nous paraissent plus intéressants. On y trouve plusieurs lectures académiques relatives à l'histoire des sciences, à l'utilité des sciences et à leurs fondements métaphysiques. Quelle place occupe le débat « cartésien »-« newtonien » dans ces réflexions ? C'est ce que nous allons voir un peu plus loin.

Le P. Béraud

Revenons au Collège de la Trinité et à l'Académie des beaux-arts. Bien qu'il ne faille pas procéder à des périodisations trop rigides, il convient de dégager une sorte de coupure en 1740. À plus d'un titre. D'abord, le 17 août est élu un nouveau pape ouvert, tolérant, ami des sciences : Benoît XIV. Ce pape des Lumières crée des chaires de mathématiques et de sciences à Rome ou à Bologne, fait nommer des femmes dans son académie, entretient des relations avec Maupertuis, autorise la publication des œuvres de Galilée. Montesquieu l'appelle le « pape des savants ». On ne trouve que peu d'allusions à la papauté dans les registres des académies ; nul doute, cependant, au vu des objectifs de la Compagnie de Jésus, que cet état d'esprit a favorisé au sein de l'ordre un souffle d'ouverture.

À Lyon même, le 17 novembre 1740, l'ABA annonce le départ du P. Duclos, nommé par ses supérieurs recteur à Aix-en-Provence et la proposition d'élire à sa place le P. Béraud (1702-1777) qui lui succède déjà au Collège de la Trinité. Il s'agit donc du remplacement du pivot à Lyon des mathématiques et de l'astronomie, pour l'enseignement, pour la recherche théorique et les observations. Or, autant Duclos était ce qu'on pourrait appeler un « militant cartésien », autant Béraud développe une approche différente. Il a des activités variées : professeur de mathématiques, directeur de l'observatoire, directeur du cabinet des médailles, il s'intéresse aussi à la physique dans ses diverses dimensions. Le chapitre VI traite des théories de Béraud en matière d'électricité, de magnétisme et de chimie à la fin de la décennie quarante et on y voit l'influence de Malebranche ; mais au début de la même décennie nous ne disposons que de mémoires sur l'astronomie et il s'en dégage un sentiment tout à fait différent.

Les trois premières interventions de Béraud, après son nomination à l'ABA, portent sur la Lune. Elles sont lues respectivement les 29 novembre 1741 et 14 février 1742 sous le même titre « Dissertation physico-astronomique sur les irrégularités de la Lune » et le 29 mai 1743 sous celui de « Discours sur les trois inégalités de la Lune »²⁵⁸. Rappelons que les irrégularités du mouvement de la Lune troublent alors les mathématiciens et les astronomes, même ceux qui sont alors les plus perspicaces dans l'analyse, comme Euler, Clairaut ou D'Alembert. Si, à l'époque, la théorie de l'attraction universelle, traitée avec l'aide du calcul différentiel et intégral, permet de construire les équations différentielles de la plupart des mouvements célestes et d'obtenir des solutions approchées correspondant bien aux observations, ce n'est pas le cas pour la Lune. Et il va d'ailleurs y avoir, entre 1747 et 1749, une grave crise qui va faire douter quelque temps de l'exactitude de la portée universelle de la loi d'attraction inversement proportionnelle au carré de la distance. La Lune étant soumise à l'attraction simultanée du Soleil et de la Terre, avec des ordres de grandeur relativement comparables, on se trouve dans le cas du « problème des trois corps » et on sait qu'aujourd'hui encore cette question conserve des mystères. S'attaquer à ce

²⁵⁸ Ms 207, f. 87-103 (pour les deux premières), f. 78-86 (pour la troisième).

problème en 1741-1743 se situe donc en plein cœur des questions ouvertes du moment. Par ses connaissances en mathématiques et sur les observations et calculs astronomiques, Béraud est bien placé pour cela.

Ses écrits sont à la fois théoriques et historiques. S'il ne va pas jusqu'à mettre en place et résoudre les équations différentielles, comme Clairaut en 1749, il pose fort bien le problème et conclut de façon formelle en faveur de Newton :

Cette conformité seule des Loix de Newton avec les inégalités lunaires est une preuve évidente que ce sont là les seules Loix que le createur a établi pour le mouvement des Planètes. (f. 85v)

Il ne s'agit pas d'un *a priori* newtonien, mais du résultat d'un examen minutieux croisé des calculs et des observations. Béraud connaît parfaitement bien les écrits de Descartes, Villemot, Privat de Molières, Fontenelle, qu'il cite en détail et il se prononce en connaissance de cause. Cela est tout à fait explicite dans ces manuscrits très pédagogiques, quelques citations parmi d'autres nous suffiront :

Voicy, Mrs, un Auteur plus recent, et dont le nom doit vous estre cher : c'est Mr Villemot il a touché la matiere présente dans son excellent ouvrage du nouveau systeme du mouvement des Planètes. Ouvrage qui a tant fait honneur aux Tourbillons. Cet autheur ôte d'abord à la Lune tout mouvement de Rotation [...] on ne peut, ce me semble, rien trouver de plus ingenieux pour expliquer dans le systeme des Tourbillons le mouvement des Planetes sur leur axe. C'est ce qu'en a pensé Mr Privat de Molières puisqu'il a suivi ce sentiment dans son nouveau systeme des tourbillons. Il n'en est pas de même de la Lune [...] Mr L'Abbé de Molières appelle ce mouvement l'oscillation de la Lune, et en trouve la cause comme Mr Villemot dans la matiere refluate. Sans entrer dans la discussion de ce systeme, qu'il me soit permis de dire en général que les Tourbillonistes seront toujours bien embarrassés lorsqu'ils voudront trouver dans leur matiere tourbillonante une cause Phisique aux balancemens de la Lunr. Un fluide qui a toujours un mouvement uniforme autour d'un même centre doit imprimer toujours aux corps qu'il entraîne la meme direction, et il sera toujours difficile d'expliquer comment les différentes couches de ce tourbillon qui ont toujours un même mouvement et des degrés de vitesse toujours relativement les mêmes feront pyrouetter une Planete tantôt d'un côté et tantôt de l'autre, quelquefois de haut en bas et d'autre fois de bas en haut [...]
C'est en suivant les principes du scavant Mr Newton que j'ay démontré que la Lune ayant un mouvement de Rotation egal à son mouvement dans l'orbite, doit presenter toujours à la Terre sensiblement la même face et en poursuivant sur les mêmes Principes, nous prouverons qu'il y a cependant une différence et que cette différence est l'unique cause que [nous] cherchons. (f. 90-91)

Ces mémoires contiennent de nombreux autres passages sur la nécessité de ne pas s'en tenir à des systèmes, d'observer avec soin, de comparer les différentes tables, on voit à l'œuvre un savant qui met en regard de façon continue et critique les efforts théoriques et les mesures pratiques.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur les travaux divers du P. Béraud. Le contraste entre ces prises de position newtoniennes et les recherches de défrichage de la fin de la décennie 1740 sur d'autres phénomènes physiques et chimiques, ne doivent pas laisser croire que l'auteur se serait reconverti ultérieurement aux grands tourbillons cartésiens pour la mécanique céleste. L'Annexe IV résumant l'appréciation de Béraud sur l'ouvrage tardif de Fontenelle en 1752 montre le contraire. Il s'agit seulement de tentatives d'explications sur des phénomènes qui se passent à des échelles différentes, nous renvoyons au chapitre VI. Il convient seulement de noter ici que, pour des générations d'élèves nés après 1725 (dont Montucla, Bossut ou Lalande), la façon de voir de Béraud va faire partie de leur bien commun.

Le renouveau des débats à l'ASBL après 1740

Au début de la décennie 1740, nous nous trouvons donc dans la situation suivante : Le P. Béraud et Mathon de la Cour (voir Chapitre V) développent les théories newtoniennes en mécanique et en astronomie à l'Académie des beaux-arts, avec toute la clarté qui caractérise leurs interventions. Cependant, cela ne règle pas l'ensemble des débats entre « cartésiens » et

« newtoniens », car ceux-ci concernent d'autres aspects physiques et philosophiques et c'est alors plutôt à l'ASBL qu'ils vont se dérouler. Les travaux et idées de Malebranche viennent compliquer le paysage : si l'on a l'habitude de considérer ce dernier comme un continuateur de Descartes et un opposant à Newton, ce n'est pas l'opinion de tout le monde et la question mérite un approfondissement (voir partie 3 de l'Introduction).

Pour sa part, le 28 février 1741, à l'ASBL, le Père Lombard énonce que Malebranche ruine Descartes et semble au moins en partie le suivre dans ses analyses :

Le P. Lombard a lu des reflexions sur la philosophie de Descartes, il les a commencé par une courte exposition de son systeme, il a d'abord remarqué que la supposition qu'il fait que la matiere n'est autre que l'étendue n'est ni juste, ni conforme a nos idées. Il a ensuite combattu les principes du système cartésien par les corrections que le p. Malebranche y a faites, il a fait voir que les corrections loin de l'appuyer de le soutenir, le ruinent entierement et en detruisent les fondements. Il a fini en faisant voir que sur les principes de Descartes on peut etablir un système du monde opposé au sien²⁵⁹.

Lors de la séance du 13 février 1742, Dugas lit un discours de du Perron intitulé « Memoire pour servir a l'histoire de la physique depuis un siecle ». L'auteur évoque dans un premier temps « l'imperfection » de la physique d'Aristote créant « une multitude d'entités, et d'idées chimeriques dont la nature etoit occulte ». Au XVII^e siècle les « nouveaux principes » proposés par Gassendi et le « système mieux lié et soutenu de raisonnements sensibles a l'esprit » de Descartes ont causé l'abandon de la physique d'Aristote dans « la plus grande partie des ecoles ». Du Perron range « sous huit classes différentes les preuves employées » par Descartes dans son système, des « classes » qui correspondent aux différents degrés de certitudes des propositions cartésiennes. Ainsi, la 1^{re} comprend « les propositions [qui] sont appuyées sur l'evidence, comme la force elastique de l'air » ; la 2^e renferme les propositions qui « sans etre evidentes peuvent etre vrayes » comme la révolution de la Terre autour du Soleil ; la 3^e et la 4^e sont celles des assertions « probables » et « vraysemblables » : par exemple, « l'existence de la matiere subtile est vraysemblable, et dans un degré inferieur il est vraysemblable que c'est elle qui cause l'elasticité » ; la 5^e relève de « conjectures » comme l'explication de Descartes des marées ; la 6^e se compose de propositions « seulement possibles » ; « la 7^e est remplie de propositions hazardées » ; « Et enfin la 8e est de celles qui sont absolument fausses ». Du Perron rapporte alors que

Huygens Disciple de descartes et sectateur de sa philosophie, a neantmoins relevé quelques unes de ses erreurs. Loke a aussi adopté le système de desCartes mais il y a decouvert des faussetés. Leybnits a été Cartésien sans en adopter le système en entier. Mais celui de tous qui l'a Attaqué avec le plus de force, c'est le celebre Newton grand Geometre et parfait observateur. On peut dire de ce genie vaste et sublime qu'il est admirable dans tout ce qu'il nous a laissé sur l'astronomie et sur la geometrie, Profond algebriste il etonne par l'immensité et la justesse de ses calculs, mais ses raisonnements sur la physique ne repondent pas a ce qu'on avoit droit d'attendre de la superiorité de ses lumieres, reservé et timide a proposer un système nouveau il se contente de demontrer les erreurs du système reçu, et dans lui la grandeur du geometre et l'elevation de l'astronome fait sentir la foiblesse du phisicien. L'opinion favorite de Newton est l'attraction sans vouloir neantmoins se servir du terme d'attirer. De la il prend occasion d'attaquer les tourbillons de descartes, sa matiere subtile ; Et en consequence il introduit les vuides dans le mecanisme de l'univers.

A la séance suivante, le 20 février, du Perron poursuit la lecture de son mémoire en soulignant que Descartes a donné « un système entier sur l'optique » tandis que « Newton ne nous a laissé que des observations sur la lumiere ». Du Perron rapporte que les « newtoniens » ont critiqué Descartes et en particulier l'identification de la matière à l'étendue faisant un univers plein. Il évoque aussi les réformes du système de Descartes par Malebranche et Privat de Molières, et réunit ces deux savants au sein d'une même famille, les « cartésiens » :

²⁵⁹ Pour précisions, remarquons que l'idée selon laquelle la matière serait différente de l'étendue est étrangère à la philosophie de Malebranche.

Le P. Malebranche a cru apporter un remède aux inconvénients du système de Descartes en le modifiant, et particulièrement en reposant dans la matière subtile la mollesse et le mouvement : En effet les tourbillons ne se touchant qu'en un point il faut nécessairement admettre des vacuoles, à moins qu'on introduise une matière subtile, molle et toujours agitée. M^r de Molières ainsi que plusieurs modernes ont apporté divers tempéraments dans l'explication de la physique de Descartes, et ils conviennent avec les newtoniens qu'elle est defectueuse dans quelques unes de ses parties ; mais quoique ils témoignent d'une reconnaissance infinie à Newton pour les excellentes découvertes qu'il a faites, et pour les erreurs qu'il a relevées dans le système de Descartes, ils ne sont pas moins attachés à ce système, ils en retiennent le fonds, et après l'avoir modifié en abandonnant quelques propositions dont la fausseté a été reconnue, les cartésiens sont aujourd'hui tous réunis.

Du Perron estime les « newtoniens » divisés et « sur tout dans la manière dont ils expliquent l'attraction » ; ils s'accordent cependant sur l'existence « des vides dans la nature ». Ainsi, selon du Perron, avant Descartes la physique ne se fondait que sur les « raisonnements », puis « Descartes y a joint les expériences et les observations, mais il a peut être un peu trop donné aux conjectures » et, enfin, Newton s'en tient « aux observations aux découvertes et aux calculs » et refuse les conjectures. Du Perron estime que la « physique ancienne » explique les effets de la nature sans pour autant les connaître, tandis que la « physique nouvelle » est « la connaissance de ces mêmes effets sans en vouloir donner l'explication » ; du Perron souhaite qu'aux expériences on joigne « les explications et les raisonnements ».

La longue citation reproduite ci-dessus soulignant « la faiblesse du physicien » en évoquant Newton mérite un rapprochement avec Fontenelle qui, dans son *Eloge de M. Newton*, estime l'anglais « timide » puisqu'il ne propose pas de système²⁶⁰. Ce passage suggère que pour du Perron la physique doit donner des causes et, en l'occurrence, un mécanisme basé sur la matière subtile. Il semble reprocher à Newton de faire des « observations » ou d'être un « observateur » tandis que Descartes fait un « système entier ». Son appel à joindre aux « expériences » des « explications » et des « raisonnements », et son évocation d'une famille de « cartésiens » unis tenant compte des critiques de Newton et réformant Descartes, inciteraient à penser que l'académicien cherche à fonder une physique sur le « plein », autrement dit sur le mécanisme, qu'il oppose aux « vides » dans anglais.

Outre les lectures mentionnées ci-dessus, les registres nous donnent des évocations un peu vagues d'autres discours. Mathon, qui lit le 13 décembre 1740 des « réflexions sur l'utilité de l'histoire, à fait voir combien l'histoire des sciences et arts étoit plus utile que l'histoire des faits et des événements ». Le 21 février 1741, « le père de colonia a entretenu la compagnie sur les révolutions de l'esprit humain, dans la première partie, il a suivi les différentes révolutions dans les sciences et dans les arts. dans la seconde il en a examiné les causes ». Le 6 août 1743, Mathon traite de « l'utilité de l'étude des mathématiques » qui « donnent à l'esprit de la justesse, de la précision, de la subtilité, de la pénétration, le rendent capable d'une contention sérieuse et durable » l'auteur souhaitant « pour les jeunes gens un cours de mathématiques qu'ils joindroient à l'étude de la philosophie ». Le 10 mars 1744, le président Dugas « a lu une dissertation contenant l'histoire de la naissance et des progrès de la physique depuis les plus anciens philosophes jusques aux plus modernes » ...

Castel, Mathon de la Cour et les « systèmes »

La discussion sur le système cartésien va connaître un chant du cygne en 1744, surtout à l'ABA par une intervention de Mathon de la Cour à propos d'un ouvrage célèbre du P. Castel, *Le vrai système de physique générale de M. Isaac Newton, exposé et analysé en parallèle avec celui de Descartes ; à la portée du commun des Physiciens*, avant de s'évaporer assez rapidement. Pour bien situer le débat dans son contexte, il convient d'opérer un retour en arrière avec le P. Castel²⁶¹, jésuite parisien très

²⁶⁰ Fontenelle, *Eloge de M. Newton*, p. 160.

²⁶¹ Le père Castel (1688-1757) est en contact avec l'Académie des beaux-arts depuis 1736, notamment à propos de son clavecin

connu, grand journaliste, diffuseur des idées dites cartésiennes. Dans des recensions anciennes d'ouvrages pour le *Journal de Trévoux*, le P. Castel se montre systématiquement hostile au vide et à l'attraction newtonienne, théorie qu'il accuse de matérialisme, suivant en cela les critiques adressées par Leibniz, ou qu'il accuse de recourir aux miracles²⁶². Castel évoque alors un « mur de separation » dressé par Descartes « entre notre siecle & les siecles precedens », à savoir l'usage du mécanisme, voyant en l'attraction un retour aux qualités occultes²⁶³.

Un mémoire de Castel, intitulé *Démonstration Physico-Mathématique de la vérité des grands Tourbillons*, publié dans le *Journal de Trévoux* de Juin 1739²⁶⁴, dénonce la réforme initiée par Malebranche et ceci tempère l'affirmation rapportée ci-dessus de du Perron pour qui les « cartesiens » seraient « aujourd'hui tous reunis ». Pour Malebranche l'absence de force de repos implique que la matière n'a pas de cohésion en soi et est donc « infiniment molle », c'est-à-dire susceptible de céder à la moindre force. Castel entend au contraire « démontrer le vice hypothétique des petits Tourbillons, fondés sur une matiere infiniment molle, fluide, & homogene »²⁶⁵ en dénonçant l'œuvre de Malebranche qui

se jeta dans les plus grands excès d'hypotheses où le Cartesianisme ait jamais donné, en rompant avec tous les liens naturels de la matiere renduë infiniment molle, & lui redonnant de sa pure liberalité 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'Epoque & la principale cause de ses progrès (p. 1244-1245).

Cette durée de 25 ans correspond environ à celle séparant la sixième édition de *De la recherche de la vérité* de l'année 1739. 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 molesse plus que fragile de la matiere, c'est la fiction plus qu'hypothétique des Tourbillons Malebranchistes qui ont fait & qui font tous les jours des Proselytes à Newton (p. 1245).

Castel vise alors à rétablir la « vérité » des tourbillons de Descartes « au préjudice de son redoutable adversaire » à savoir Newton. Cela ne signifie pas que Castel reconduise ces tourbillons tels quels. Il en critique l'idée « fort imparfaite » et dénonce une construction « à la hâte » et, en particulier, ce grand « vice » : tous composés d'une même matière, celle-ci serait « fragile », « tendre », « infiniment fluide, ou toute prête à le devenir ». La critique essentielle de Castel contre le système des tourbillons de Descartes consiste à soutenir qu'ils sont « trop sujets à se confondre » et finalement à disparaître. En effet, Castel fait sienne une critique de Newton contenue dans ses *Principia*²⁶⁶ : en supposant deux globes en rotation dans un même fluide et qui créent deux tourbillons, ceux-ci se propageront et se perturberont mutuellement altérant ainsi les distances entre ces globes qui ne garderont pas une situation fixe ; puis les tourbillons se mêleront et ne seront pas terminés par « des limites certaines » comme le veut Descartes. Castel écrit alors que les tourbillons se « détruiront mutuellement » et que, pour éviter cette conséquence, il faut composer les tourbillons de « matieres hétérogènes & immiscibles » à l'instar de l'huile avec l'eau.

Dans son livre *Le vrai système de physique generale*, Castel écrit que la réforme des tourbillons de Descartes opérée par Malebranche qui préconise, selon Castel, « une matière infiniment molle, fluide, divisible & divisée, & du reste homogene & miscible à l'infini » ne résout pas, sinon

oculaire et de ses comparaisons osées entre l'optique et l'acoustique; mais il n'en sera membre associé qu'en 1749. Voir le chapitre V.

²⁶² Voir les analyses de Borghero, *Les Cartésiens face à Newton*, p. 95-98 des recensions de Castel des livres de 's Gravesande, *Physices elemnta mathematica, experimentis confirmata* et la correspondance de Leibniz-Clarke publié dans Desmaizeaux, *Recueil de diverses pièces*.

²⁶³ *Journal de Trévoux*, mai 1721, p. 832-833.

²⁶⁴ Ce mémoire n'est pas signé, mais est manifestement du père Castel, Sigorgne évoquant de ce père deux mémoires dans « les Mémoires de Trévoux, Juillet & Septembre 1739 » – il s'agit en fait de juin et septembre. Voir Sigorgne, *Replique à M. de Molières*, p. 36.

²⁶⁵ Castel, *Démonstration Physico-Mathématique de la vérité des grands Tourbillons*, p. 1245-1246.

²⁶⁶ Newton, *Principes*, t. I, Prop. 52, Corollaires 5 et 6, p. 419-420.

aggrave, cette difficulté des tourbillons²⁶⁷. Dans ces conditions la critique de Newton était facile et juste « mais il a été peut-être plus loin que l'objet » car il a été conduit à « immatérialiser les espaces célestes » en lignes et points, autrement dit en objets mathématiques (p. 25-26). Castel plaint les « *Newtoniens Physiciens* » qui en seraient réduits à recourir à des « corollaires », « des résultats sans principes, sans corps de Système, sans substance », « ne se repaissant que de *Vuides & d'Attraction* ». Il considère que Newton réduit la physique à la géométrie, qu'attraction et vide ne sont que des hypothèses et que Newton s'est laissé prendre à énoncer en vérité celles-ci par la force de la géométrie. Au contraire, Castel a de l'estime pour les hypothèses des « Cartésiens » : il les considère « intelligibles » et juge qu'ils ne les prennent pas pour autre chose que ce qu'elles sont, tandis que les « Disciples Physiciens » de Newton pensent que « tout [est] démontré » et prennent les hypothèses pour des réalités. Les « Cartésiens » pèsent, jugent, échafaudent, et ils modifient, changent, retranchent leurs hypothèses mais tout en « philosoph[ant] » avec Descartes (p. 7-14). Castel évoque alors la « saine Physique » de Descartes fondée sur « le Mécanisme de la Nature », et critique le « Système » de Newton qui « n'est point du tout mécanique » ou encore qui « n'est point matériel, ou ne l'est que dans les effets, & nullement dans les causes » (p. 33-34). En somme, Newton nomme « Physique » ce qui avant lui s'appelait « Astronomie », « Mécanique », « Géométrie », ou science « *Physico-mathématique* tout au plus », mais « Newton croit tout fait en Physique » une fois les phénomènes représentés « par des figures, & par des calculs » : ceci n'est pas faire de la « physique » puisque une telle pratique ne repose pas sur un mécanisme (p. 368-369). D'ailleurs, Castel évoque le recours à des « causes métaphysiques purement géométriques » chez Newton qu'il oppose aux « causes physiques ; c'est-à-dire selon lui, mécaniques & corporelles » (p. 42).

Malgré tout, en 1743, dans *Le vrai système de physique générale*, Castel s'estime « fort impartial » dans le jugement qu'il donne de ces « illustres Rivaux », Descartes et Newton, et s'il se revendique « Dieu merci, Ni Newtonien ni Cartésien », de fait il adopte une physique causale s'appuyant, bien que la réformant, sur le mécanisme de Descartes (p. 10 et 16). Nous verrons au chapitre V comment Mathon réfute l'essentiel de cet ouvrage le 25 juin 1744.

4.3 Après 1744

A l'ABA

Le P. Duclos quitte Lyon en novembre 1740 (et meurt à Aix en 1743). Le principal militant « cartésien » n'est donc plus là. L'autre « cartésien » déterminé Rey (qui est moins profond et plus éclectique) se retire à Saint-Chamond à la fin de 1744. D'autre part, le contexte scientifique national et international a changé avec, notamment, les deux grands ouvrages de 1743, la *Théorie de la figure de la Terre* de Clairaut et le *Traité de dynamique* de D'Alembert. À l'Académie des sciences de Paris, Privat de Molières, grand partisan des tourbillons, qui vient de mener une polémique assez sévère avec l'abbé Nollet à cet égard²⁶⁸, est aussi décédé le 12 mai 1742. On voit que le débat change du tout au tout, que les termes antérieurs sont dépassés : la discussion entre Castel et Mathon, que nous venons d'évoquer, constitue une espèce de chant du cygne de l'opposition « cartésiens »/« newtoniens ». Mais ce débat ne disparaît pas complètement, il se transforme à certains égards.

Disons quelques mots sur l'évolution des positions de l'abbé Cayer. Celui-ci lit le 6 mai 1744 un mémoire intitulé « Sur la formation du soleil par les lois du mouvement »²⁶⁹ où il développe des positions cartésiennes classiques sur ce sujet. Les deux années suivantes, il donne des « Recherches physiques sur l'étendue et les propriétés de la lumière »²⁷⁰, ce mémoire comporte de

²⁶⁷ Voir Castel, *Le vrai système de physique générale*, p. 308-312. La réfutation des petits tourbillons et cette nécessité de tourbillons composés de matières hétérogènes figurait déjà dans la *Démonstration Physico-Mathématique de la vérité des grands Tourbillons* de 1739.

²⁶⁸ Shank, *The Newton Wars*, p. 462-464.

²⁶⁹ Ms207 f°66-72.

²⁷⁰ 12 mai 1745 (Ms184 f°62-64) et 30 novembre 1746 (Ms184 f°59-61).

nombreuses occurrences sur les tourbillons dans l'immensité de l'univers, Malebranche y est cité comme référence et Cayer exprime son doute face aux positions de Newton à propos du vide (f. 59). Mais quelques années plus tard, le 15 décembre 1751, il semble plus neutre. Cayer commence par se réjouir de l'effervescence des débats sur les théories physiques, donne les sentiments de Descartes, Malebranche, Privat de Molières, puis évoque (sans critique) ceux de Newton qui, dit-il, détruiraient les tourbillons²⁷¹.

Le père Béraud, professeur de mathématiques au collège de la Trinité, directeur de l'Observatoire, pendant plus de vingt ans, nous semble un personnage emblématique quant à l'état d'esprit de plusieurs savants lyonnais à propos des systèmes cartésiens et newtoniens. Nous l'avons évoqué plus haut et nous y revenons dans le chapitre VI : observateur en astronomie, il combat les grands tourbillons comme cause possible de l'entraînement des astres (voir Annexe IV), suit et enrichit les travaux de mécanique newtoniens et post-newtoniens pour expliquer le mouvement des planètes ; pour d'autres phénomènes à petite échelle il développe un mécanisme indéniablement influencé par Malebranche tout en gardant une originalité. Nous renvoyons aux chapitre VI où ces aspects sont traités en détail.

Le P. Tolomas (1706-1762), autre pédagogue central dans la vie du collège jésuite de 1740 jusqu'à la disgrâce de 1762 et à l'expulsion de 1764, nous montre une autre facette, plus complémentaire qu'opposée. C'est un professeur plus littéraire, très éclectique, qui, d'après les documents que nous connaissons, n'intervient pas spécialement sur les questions mathématiques et physiques. Néanmoins, à partir de 1747, il décide de traduire un important ouvrage de Pemberton visant à diffuser les idées newtoniennes. Ceci est l'objet du chapitre VII et de l'Annexe III.

Vers 1750, les thèmes étudiés au sein de l'académie scientifique se diversifient : les médecins, chirurgiens, naturalistes, architectes, peintres, inventeurs, occupent progressivement une place relativement plus grande. Les astronomes poursuivent leurs observations. On s'intéresse un peu aux nouveaux phénomènes sur l'électricité et le magnétisme, mais c'est en général plus tard, après la fusion des académies de 1758 et dans des cadres médicaux et naturalistes que ces questions sont abordées. Les réflexions sur les systèmes n'ont pratiquement plus cours.

A l'ASBL

Jacques Mathon de la Cour, qui est membre des deux académies, reprend le 1^{er} septembre 1744 à l'ASBL les critiques qu'il a formulées à l'ABA le 25 juin contre Castel. Des réflexions ayant davantage traits aux fondements métaphysiques des sciences sont présentes autour des années 1745.

Cheynet discute longuement, le 24 août 1745, 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 », en s'interrogeant 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 ». Cette dernière thèse correspond à celle de Malebranche qui réfute Descartes lequel estime que le repos requiert autant de force que le mouvement²⁷². Cheynet refuse l'argumentation de Malebranche 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, nos sens nous trompent, et 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, Dieu conserve chaque corps à chaque instant et identiquement pour le repos et le mouvement. Enfin,

²⁷¹ Ms 184, f. 66-69.

²⁷² Voir Malebranche, *De la recherche de la vérité* dans *Œuvres*, t. II, p. 420-449 et Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences*. Voir partie 3 de l'Introduction.

si le repos n'avait pas de force, le mouvement ne trouverait pas de résistance et l'univers retomberait dans le chaos²⁷³. Le sujet suscite des discussions, puisque Louis Borde « a lu quelques reflexions sur le mouvement et le repos : Elles 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 connu.

Le 16 novembre 1745 et le 6 septembre 1746, le père Pierre Bimet (1687-1760) propose une relation critique de l'*Essai philosophique concernant l'entendement humain* (trad. P. Coste, Amsterdam, 1700) de Locke que n'est « qu'une explica[ti]on tres diffuse du vieux axiome Peripateticien. *Nil est in Intellectu qd non prius o fuerit in sensu* [rien n'est dans l'intellect qui n'ait été d'abord dans la sensation] ». Cheynet développe aussi « des reflexions sur l'utilité de la metaphisique » et considère « qu'il n'est aucune science, ou ses principes ne soient necessaires, et si quelques savants ont marqué de l'indifference, et meme du mepris, pour les questions qui sont l'objet de ses speculations, leur critique ne tombe que sur les subtilités que les metaphysiciens modernes ont introduites » (2 mai 1747).

Nous n'avons pu prétendre à l'exhaustivité dans notre exposé des diverses positions des savants lyonnais au sujet de Descartes, de Newton et des fondements des sciences physiques, mais nous espérons que les échantillons cités sont assez représentatifs de l'essentiel des discussions. Les chapitres I-VII qui suivent entendent approfondir certains des écrits qui ont marqué ce demi-siècle.

²⁷³ On retrouve la plupart de ces critiques notamment dans Lamy, *Lettres philosophiques sur divers sujets importants*.

Chapitre I

Les *Commentaires sur la Géométrie* de M. Descartes (1730) de Claude Rabuel

1. Introduction

Dans sa nouvelle célèbre, *Pierre Ménard, auteur du « Quichotte »*, Jorge Luis Borges nous conte la fiction d'un auteur, Pierre Ménard, qui aurait réécrit au début du XX^e siècle le *Don Quichotte* de Cervantes. On pourrait dire, en quelque sorte, la même chose à propos de Claude Rabuel (1669-1728), père jésuite lyonnais, dont les *Commentaires sur la Géométrie de M. Descartes*, tirés de ses leçons de mathématiques professées au collège de la Trinité à Lyon, paraissent de façon posthume en 1730 près d'un siècle après *La Géométrie* publiée en 1637 comme un des essais accompagnant le *Discours de la Méthode*.

Dans son commentaire « diffus » (l'opération produit à partir d'un bref essai d'une centaine de pages un manuel de près de six-cents pages), Rabuel suit « le Texte depuis le commencement jusqu'à la fin, [l'examine] par Parties, & sur chaque endroit [met] tout ce qu'[il] a cru utile pour le rendre intelligible »¹. Il adjoint en outre plusieurs références, non seulement aux lettres mathématiques de Descartes, éditées de 1657 à 1667 au sein des trois volumes de la correspondance de Descartes par Claude Clerselier², mais aussi à des ouvrages de son temps parus après *La Géométrie*³ et aux *Histoires et Mémoires de l'Académie des Sciences* de 1704 et 1705⁴. En rassemblant ainsi un texte et ses lectures, Rabuel nous donne à lire une *Géométrie* « infiniment plus riche » selon l'expression borgésienne.

Il est remarquable qu'un tel projet ait vu le jour. *La Géométrie* de Descartes est en effet un des rares textes mathématiques modernes à avoir connu plusieurs éditions commentées, à commencer par les deux éditions latines de Frans van Schooten de 1649 et 1659-1661⁵ (la deuxième, en deux volumes, fait plus de mille pages), qui ont joué un rôle important dans la genèse et la circulation de la Géométrie cartésienne. Avec le commentaire de Rabuel, c'est donc près de deux mille pages qui sont nées de l'essai de 1637 !

Cette prolixité pourrait interroger dans le domaine des mathématiques mais elle répond à un souhait exprimé par l'auteur lui-même. Dans une formule célèbre qui clôt *La Géométrie*, Descartes invite en effet le lecteur de *La Géométrie* à combler les choses qu'il a « omises *volontairement* afin de laisser [à nos neveux] le plaisir de les inventer »⁶. Plus tard, par ces omissions, il prétendra avoir visé à tromper les « esprits malins »⁷.

¹ Cf. Rabuel, *Commentaires*, p. 1.

² Cf. Descartes, *Lettres*. On retrouve des lettres présentant un contenu mathématique dans les trois volumes mais c'est le troisième et dernier, publié en 1667, qui est plus particulièrement consacré à la correspondance mathématique cartésienne, et c'est celui-là qui est cité par Rabuel. À ma connaissance, la réception de la géométrie cartésienne dans l'édition de Clerselier par les mathématiciens de la fin du dix-septième siècle et du début du dix-huitième siècle n'a jamais été étudiée. Pour autant, comme j'ai essayé de le montrer dans Maronne, *La théorie des courbes et des équations*, la correspondance de Descartes dévoile une autre géométrie. Les citations de Rabuel donnent ainsi les premiers éléments d'information sur l'influence qu'a pu avoir l'édition des lettres mathématiques de Descartes par Clerselier dans la réception de *La Géométrie*. Dans la suite, j'indique donc systématiquement, parmi les lettres de Descartes que je cite et étudie, celles qui ont été publiées dans l'édition de Clerselier, afin de documenter une telle réception. Pour des études philologiques et bibliographiques de l'édition de Clerselier, voir Descartes, *Œuvres* (abrégé dans la suite AT) I, xv-xlv, Otegem, *Bibliography* II, p. 575-656 et Bos, *Regius*, p. xxiv-xxxv. Pour des études historiques, cf. Dibon, « Clerselier, éditeur de la Correspondance » et Armogathe, « La Correspondance de Descartes ».

³ Il s'agit des ouvrages de La Hire, *La construction des équations analytiques*, Guisnée, *Application de l'algebre a la geometrie* et L'Hospital, *Traité analytique des sections coniques*.

⁴ On trouvera une recension des références de Rabuel accompagné d'une analyse plus loin dans les sections 4, 5 et 6.

⁵ Cf. Descartes, *Geometria* 1649 et Descartes, *Geometria* 1659-1661.

⁶ Cf. Descartes, *Géométrie* 1637, p. 413 et AT VI, 485.

⁷ Sur les omissions de Descartes, voir *infra* section 3.3.

2. Quelques éléments biographiques sur Rabuel

On dispose de peu d'informations sur la vie de Claude Rabuel. Sommervogel nous apprend « qu'il [naquit] à Pont-de-Veyle dans l'Ain le 24 avril 1669, [entra au noviciat] le 14 septembre 1685, et enseigna la grammaire à Dole, la philosophie, 29 ans à Lyon les mathématiques, 3 ans la théologie morale et mourut à Lyon, le 12 avril 1728 »⁸. Les états ou *Catalogues brefs* de la province de Lyon, recueillis par François de Dainville, mentionnent Claude Rabuel comme professeur de mathématiques au Collège de la Trinité à Lyon de 1701 à 1703, puis de 1709 à 1712⁹.

Montucla, qui fut formé plus tard dans ce même collège jésuite de Lyon par le P. Béraud, indique en outre dans son *Histoire des mathématiques* que Rabuel remplaça le P. de Saint-Bonnet à la tête de l'Observatoire fondé par ce dernier en 1701, avant que ne lui succède le P. Duclos, mais sans autres détails¹⁰.

En revanche, Rabuel n'a été membre ni de l'Académie des sciences et belles-lettres de Lyon, créée en 1700, ni de la Société des Beaux-Arts de Lyon établie en 1713, qui seront officialisées au sein d'une entité commune en 1724 par lettres patentes du roi¹¹.

Notre source principale d'informations sur la vie de Rabuel est fournie par la notice biographique qui figure en tête des *Commentaires sur la Géométrie de M. Descartes* (1730) au sein d'une préface anonyme. Cette préface rédigée par un disciple du P. Rabuel¹² est très vraisemblablement l'œuvre du P. Lespinasse (1697-1745) qui acheva la publication de l'ouvrage¹³ après le décès de son auteur « au commencement de l'impression de son Commentaire, à laquelle on l'avoit enfin déterminé, épuisé par un travail assidu »¹⁴. Cette notice biographique et des éléments de la préface ont été incorporés dans l'article des *Mémoires de Trévoux* de juin 1730 qui annonce la publication des *Commentaires* de Rabuel¹⁵ et conclut :

Nous croyons devoir dès à présent faire connoître au Public celui, à qui il est redevable de cette belle édition. C'est au R. P. De l'Espinasse, aujourd'hui Professeur de Philosophie au Collège St Jaume à Marseille. Il est à souhaiter que les occupations de son emploi lui laissent assés de loisir, pour travailler à mettre en état de paroître bientôt, les autres Ouvrages que le R. P. Rabuel a laissés (*Mémoires*

⁸ Cf. Sommervogel VII, 1362. Voir aussi Backer, III, 3-4 et Depéry, *Biographie*, t. I, p. 103-104. Delattre mentionne dans sa notice sur le collège jésuite de Pont-de-Veyle un neveu, François Rabuel (1684-1710) « qui mourut à Lyon ses études théologiques à peine achevées », Delattre, IV, p. 194.

⁹ Cf. Dainville, « L'enseignement des mathématiques dans les Collèges Jésuites », p. 115. C'est le père Jean Fulchiron qui est professeur dans l'intervalle (1703-1709). Pour un tableau chronologique des professeurs de mathématiques et de physique au Collège de la Trinité, voir Delattre, II, p. 1549-1552. Parmi les grands noms qui y ont précédé Rabuel, citons le P. Honoré Fabri (1607-1688) qui fut titulaire de la chaire de mathématiques de 1640 à 1647 avant de rejoindre Rome et le P. Claude Milliet de Chales (1621-1678), auteur du *Cursus seu Mundus Mathematicus* (1690), cours complet de mathématiques en 4 volumes plusieurs fois réédité, ainsi que de plusieurs éditions en latin et en français des *Éléments* d'Euclide.

¹⁰ Cf. Montucla, *Histoire des mathématiques* (1798-1802), IV, p. 347. À ma connaissance, cette indication de Montucla n'est pas corroborée par d'autres sources. Sur l'Observatoire du collège de Lyon, cf. Delattre, II, p. 1552-1556 qui s'appuie sur Vregille, *L'observatoire de la Trinité de Lyon*, ainsi que Van Damme, *Le temple de la sagesse*, p. 390-394.

¹¹ Pour une histoire de ces Académies et de leurs membres, voir la partie 1 de l'introduction du présent ouvrage. Cf. également Dumas, *Histoire de l'Académie royale des sciences, belles-lettres et Arts de Lyon* et *Dictionnaire historique des académiciens de Lyon*. Le P. de Saint-Bonnet (1652-1702), « philosophe et Mathématicien, fort connu et fort aimé de M. Varignon » (*Correspondance entre Boileau Despréaux et Brossette*, p. 41), dont on a vu qu'il était lié à Rabuel, figure parmi les fondateurs de cette Académie avec Charles Cheynet (1666-1762), auteur de plusieurs travaux académiques consacrés à l'application de l'algèbre à la géométrie, dont une « Dissertation sur la géométrie de Descartes ». Les « Discours et dissertations académiques, lus à l'Académie de Lyon par Charles Cheynet » figurent dans un recueil manuscrit à la BNF (cote : NAF 11065). Pour plus de détails sur ces savants lyonnais, cf. la partie 4 de l'Introduction.

¹² « Il fut mon Maître, c'est de lui que j'ai pris mes premières leçons de Geometrie », Rabuel, *Commentaires*, Préface.

¹³ Cf. Sommervogel, VII, 1362 et les notices consacrées au P. Lespinasse dans de Backer, II, 718 et Sommervogel, IV, 1725. Cette attribution est fondée, entre autres, sur le témoignage donné par le P. du Chatelard dans son compte rendu de l'observation de l'éclipse du soleil du 1er mars 1737 (*Mémoires de Trévoux*, avril 1737, p. 734). Le P. Colonia dans son *Histoire littéraire de la ville de Lyon* mentionne aussi le P. Lespinasse comme l'éditeur des *Commentaires* (*op. cit.*, II, p. 733).

¹⁴ Cf. Rabuel, *Commentaires*, Préface. De fait, la permission du Révérend Père Provincial pour la publication date du 24 mars 1728, soit moins d'un mois avant le décès de Rabuel le 12 avril 1728. L'approbation par Louis Godin (1704-1760) de l'Observatoire Royal (membre de l'Académie des Sciences, il participera plus tard à l'expédition de mesure de l'arc de méridien en Équateur) date quant à elle du 8 novembre 1727 et le Privilège général du 26 novembre 1727.

¹⁵ Cf. *Mémoires de Trévoux*, juin 1730, p. 1106-1108. Cet article paraphrase et cite deux longs extraits *in extenso* de la préface. Une recension suivra peu après : *Mémoires de Trévoux*, juillet 1730, p. 1206-1214 sur laquelle je reviendrai.

de Trévoux, juin 1730, 1110-1111)

Dans sa notice biographique, Lespinasse mentionne en effet plusieurs autres ouvrages de géométrie et de calcul manuscrits de Rabuel¹⁶ dont il annonce la parution prochaine, ce qui n'advient jamais :

Il nous reste de ce sçavant Jesuite, un traité d'Algebre, des Sections Coniques, des lieux Geometriques, du calcul differentiel, & du calcul integral. Ce dernier Traité est un Ouvrage neuf. Ce que nous en a donné M. Carré est admirable, mais il ne suffit pas¹⁷ ; c'est ce qui obligea le R. P. Rabuel à suivre les vûës de cet illustre Academicien, & à développer ce que celui-ci se contente d'abandonner à l'étude & au genie de ses Lecteurs. (Rabuel, *Commentaires*, Préface)¹⁸

Du portrait dressé par Lespinasse, il semble qu'on puisse retenir, au-delà des amplifications rhétoriques, trois traits caractéristiques de la personnalité de Rabuel, à savoir une extrême modestie jointe à une santé fragile et, conséquemment, un souci du retrait, qui ne sont pas étrangers à sa discrétion éditoriale. Voici ce qu'écrivit Lespinasse dans sa Préface :

Cet Ouvrage [Les *Commentaires*] étoit achevé depuis longtemps ; & déjà plusieurs fois on avoit voulu engager le R.P. RABUEL, à le donner au Public ; mais son extrême modestie s'y étoit toujours opposée. Satisfait de l'unique plaisir qu'il trouvoit à étudier, il ne pouvoit se résoudre à devenir Auteur...

Tous ces Ouvrages [cf. *supra*] que nous ferons bientôt paroître, sont le fruit d'un long travail, qu'une santé toujours foible & délicate ne permettoit guères de soutenir, & que de frequentes maladies obligeroient souvent d'interrompre...

[Les *qualités de Rabuel*] une modestie qu'on auroit regardé comme excessive dans tout autre que dans un Religieux ; [...] une patience inaltérable dans ses maladies, une resignation parfaite aux ordres du ciel, malgré tous les dégouts que cause naturellement une vie accompagnée d'infirmités (Rabuel, *Commentaires*, Préface)

Malgré ces limitations, Rabuel est présenté comme un « esprit universel » qui s'est adonné aux belles-lettres, en particulier à la poésie latine, ainsi qu'à des études de Théologie, puis « a enseigné avec éclat la Philosophie dans deux des principales villes du Royaume » avant qu'il ne se destine aux mathématiques à l'instigation de ses supérieurs.

Le portrait de Rabuel par Lespinasse paraît confirmé par le témoignage contemporain du P. Colonia (1660-1741) qui écrit dans son *Histoire littéraire de la ville de Lyon* :

Le Pere Claude Rabuel, Mathématicien aussi profond que méthodique, a eu, en qualité d'Auteur, à peu près le même sort que M. Descartes, dont il a été le Commentateur. Il n'a guère eu comme lui que des honneurs postumes. *Son goût particulier pour la retraite, sa passion pour l'étude, sa grande modestie, sa foible santé, l'ont empêché de se produire dans les vingt années qu'il a professé les Mathématiques dans le Collège de la Trinité, & ce n'a jamais été qu'avec une extrême répugnance qu'il a été obligé de se montrer en certaines occasions.* Mais on peut assurer par avance que sa reputation ne fera que croître avec le tems. C'est ce que nous annonçons son excellent Commentaire sur toute la Géométrie de Descartes, qui vient d'être publié cette année courante 1730. (Colonia, *Histoire littéraire de la ville de Lyon*, p. 732)

Jacques Perneti (1696-1777), qui avait eu pour maître Rabuel lorsqu'il étudiait au collège de la Trinité à Lyon, écrit enfin à son sujet dans ses *Recherches pour servir à l'histoire de Lyon* :

C'étoit le génie le plus universel & le plus beau que j'aie vu. Quels volumes précieux n'auroit-on pas fait de ses ouvrages divers, qui resté manuscrits & dispersés ne nous laissent aucune espérance de les voir jamais réunis. (Perneti, *Recherches pour servir à l'histoire de Lyon* II, p. 284)

¹⁶ Sommervogel signale dans sa notice deux autres traités d'optique et de catoptrique de 1702 : le *De fallaciis oculorum* et le *De speculis planis*. Cf. Sommervogel VII, 1363.

¹⁷ Il s'agit de la *Méthode pour la mesure des surfaces* (1700), premier traité de calcul intégral rédigé par Louis Carré (1663-1711) qui fut secrétaire de Malebranche avant d'entrer à l'Académie des Sciences comme élève de Varignon.

¹⁸ La préface n'est pas paginée.

Vingt-sept ans après la préface des *Commentaires* de Lespinasse, qui est mort quelques années auparavant en 1745, le projet de publier les traités géométriques de Rabuel apparaît ainsi comme définitivement abandonné, et la discrète figure scientifique de Rabuel, en passe d'être oubliée.

3. Les *Commentaires sur la Géométrie* de 1730

3.1. Un éloge de Descartes géomètre

Si les *Commentaires sur la Géométrie* de M. Descartes s'ouvrent, comme il paraîtrait naturel, sur quelques phrases d'éloge de Descartes, cet éloge n'en est pas moins nuancé :

Il serait inutile aujourd'hui d'entreprendre un éloge de Mr DESCARTES. Ses découvertes dans la Physique & dans les Mathématiques, font mieux connaître le caractère de ce Grand Homme, que tout ce que nous pourrions en dire. Si dans la Philosophie, il s'est quelquefois écarté du vrai, en abandonnant les opinions communes ; du moins lui devons-nous cette justice, que dans les choses mêmes qu'il ne nous propose que comme problématiques, on reconnoît toujours cette étendue & cette supériorité de génie, qui l'[sic]ont rendu l'admiration de son siècle. Son Chef-d'œuvre est sans doute sa Geometrie. (Rabuel, *Commentaires*, Préface)

On retrouve ici exprimée la position des Jésuites vis à vis de Descartes en cette première moitié du dix-huitième siècle, qui se manifeste par une lecture et une appréciation sélective de l'Œuvre de Descartes selon qu'il est question de la philosophie, la physique ou la géométrie cartésiennes. On constate toutefois, selon l'expression de François de Dainville, reprise par François Azouvi, un « ralliement à Descartes » chez les Jésuites, qui s'accommode avec les interdictions formulées contre l'enseignement de la philosophie de Descartes et de Malebranche lors de la XV^e congrégation générale de l'Ordre en 1705¹⁹ et apparaît, dans le même temps, comme l'avertissement stratégique d'une opposition sous-jacente à la physique (et au matérialisme) de Newton qui l'emporte peu à peu dans les milieux savants sur la physique cartésienne²⁰. Cette réaction prendra peu à peu un tour nationaliste, qui transparaît dans la préface de Lespinasse lorsque celui ajoute que *La Géométrie* de Descartes « [est appelée] avec raison la Geometrie Française » par « un habile Geometre de ce siècle », le P. Castel, dans sa *Mathématique universelle abrégée* (1728)²¹. Comme le résume François Azouvi, les jésuites, s'ils condamnent encore formellement le cartésianisme, exaltent la figure de Descartes (Azouvi, *op. cit.*, p. 87).

Ce ralliement des Jésuites à Descartes est tout à fait visible dans la province de Lyon et le collège de la Trinité²². Ainsi, à la fin du XVII^e siècle, le P. de la Chaize (1624-1729) paraît faire

¹⁹ Cf. Dainville, « L'enseignement scientifique dans les collèges des jésuites », p. 45-46 et Azouvi, *Descartes et la France*, p. 82-87, ainsi que Sortais, « Le cartésianisme chez les jésuites français » et Van Damme, *Descartes*, p. 93-96. Malgré ses tribulations, le P. André (1675-1764), jésuite malebranchiste contemporain de Rabuel, continuera ainsi à enseigner Descartes.

²⁰ Cf. Dainville, « L'enseignement scientifique dans les collèges des jésuites », p. 47-49 et Azouvi, *op. cit.*, p. 85-86. Sur les rapports entre cartésianisme et newtonianisme au cours du premier XVIII^e siècle, voir la partie 2 de l'introduction du présent ouvrage. Plus tard, le P. Paulian proposera en 1763 un *Traité de Paix entre Descartes et Newton* : cf. Sortais, *op. cit.*, p. 10.

²¹ Cf. Castel, *Mathématique universelle abrégée*, p. 558. Sur le P. Castel (1688-1757), professeur à Louis le Grand de 1720 à 1757, et sa *Mathématique universelle abrégée* (qui fait 672 pages...), voir Dainville, « L'enseignement scientifique dans les collèges des jésuites », p. 58-60. Auparavant, son *Traité de Physique* paru en 1724, avait donné lieu à de vifs échanges polémiques dans les *Mémoires de Trévoux* : cf. Azouvi, *op. cit.*, p. 91-92. Castel y apparaissait en effet critique de Descartes et de la géométrie française, tout en se prétendant Cartésien, et bien trop zélé de Newton et de son système de la gravité, au goût des recenseurs des *Mémoires de Trévoux*. On retrouve cette ambivalence dans le texte auquel fait référence Lespinasse :

C'est M. Stirling que je vais suivre ici, pour développer ce morceau de Geometrie [l'énumération des cubiques], qu'on peut appeler la *Geometrie Angloise* par préférence à tous les autres, comme on peut appeler la Geometrie de Descartes la *Geometrie Française*. Car quoique M. Newton ait beaucoup d'autres & de grandes découvertes qui lui sont propres ; cependant comme ses principes Mathématiques sont mêlés de beaucoup de choses litigieuses, de la Physique & de la Mécanique, & que M. Leibniz semble partager avec lui la gloire du Calcul infinitesimal, je dis en general, & comme d'ailleurs je ne vois pas que hors de l'Angleterre on ait fort manié cette theorie generale des Courbes, à la réserve d'une premiere ebauche que Descartes en a faite dans sa Geometrie, & de la clef generale qu'il a donnée, pour leur réduction en Equations Algebriques. (Castel, *Mathématique universelle abrégée*, p. 588-589)

²² Cf. Van Damme, *Descartes*, p. 95 et 128-129 ainsi que Bouillier, *L'Académie de Lyon au XVIII^e siècle*.

place à Descartes dans son enseignement de la philosophie naturelle, d'après l'éloge de Gros de Boze (Sortais, *op. cit.*, p. 3-4). En 1706, une lettre du P. Daugières dénonce « la pénétration de la philosophie de Descartes et de Gassendi dans les collèges de la Province de Lyon »²³. Le P. Saint-Bonnet, lié à Rabuel, est cartésien au témoignage de Perneti qui écrit à son sujet :

Le P. de Saint-Bonnet avoit embrassé le système de Descartes dès qu'il avoit paru. Les [autres] Jésuites lui en faisoient la guerre, & l'attaquoient souvent sur l'ame des bêtes. (Perneti, *Recherches pour servir à l'histoire de Lyon*, p. 143)²⁴

On sait enfin que la bibliothèque du Collège de la Trinité contient à cette époque plusieurs ouvrages de Descartes, dont « la *Geometria* en latin et en français, [...] *Les Lettres* en français (1667) »²⁵. Rappelons enfin que les premières assemblées de l'Académie des Sciences de Lyon furent consacrées à discuter la démonstration par Descartes de l'existence de Dieu (Introduction, partie 1). Rabuel apparaît ainsi loin d'être isolé dans son cartésianisme.

Quant à *La Géométrie*, même le P. Pierre-Daniel Huet (1630-1721), qui fut l'un des principaux critiques de Descartes à la fin du dix-septième siècle, « lui donne sans peine la preference sur tous les autres Ouvrages de M. Descartes », comme se plaît à le rappeler Rabuel (*Commentaires*, p. 2)²⁶.

Il est aussi connu que ce ralliement jésuite à Descartes est manifeste dans les *Mémoires de Trévoux*²⁷. On y trouve ainsi en 1721, quelques années avant la publication des *Commentaires* de Rabuel, un autre éloge enthousiaste de Descartes géomètre par un rédacteur anonyme :

Descartes, prenant son vol au-dessus de tout ce qui l'avoit précédé, porta [l'analyse] presque à son plus haut point, et crea aussi de son côté une nouvelle Géometrie, dont l'alliance avec celle de Saint-Vincent son contemporain, même son admirateur, comme il l'étoit lui-même de Saint-Vincent, a rendu désormais les Mathématiques et si faciles et et si fécondes. Je n'entrerai point dans le detail des grandes découvertes de ce genie sublime ; il a eu plus de bonheur, et on lui a rendu plus de justice qu'à Grégoire [de Saint-Vincent], et sa gloire est au-dessus de toutes les Apologies, à laquelle quelques esprits mal faits l'ont soumis pour se venger de l'impossibilité où ils se sont vus de profiter eux-mêmes de ses découvertes. (*Mémoires de Trévoux*, Juin 1721, p. 1035-1036) ; cité par (Sortais, « Le cartésianisme chez les jésuites français », p. 6-7)

Cet éloge de Descartes, *géomètre*, joint à celui de Saint-Vincent²⁸, anticipe le jugement donné par D'Alembert dans son *Discours Préliminaire* de l'*Encyclopédie* de 1751²⁹. Pour d'Alembert, le grand succès de Descartes, c'est l'application de l'algèbre à la géométrie et, plus précisément et techniquement, l'invention en algèbre de la méthode des coefficients indéterminés³⁰.

²³ Cf. Dainville, « L'enseignement scientifique dans les collèges des jésuites », p. 45 et Van Damme, *op. cit.*, p. 95.

²⁴ Cité par Van Damme, *op. cit.*, p. 128 et extrait de la biographie de Saint-Bonnet (Perneti, *op. cit.*, p. 141-144).

²⁵ Cf. Van Damme, *op. cit.*, p. 75-76. Il s'agirait donc du troisième volume des *Lettres* consacré en particulier à la correspondance mathématique de Descartes. Un catalogue de la bibliothèque du collège a été établi par Delandine (Bibliothèque Municipale de Lyon, Ms 1459). Sur la bibliothèque du Collège, cf. également Bertin, *Le Collège de la Trinité : Histoire d'une bibliothèque*.

²⁶ Cf. Huet, *Censura Philosophiae cartesianae*, Chap. 8, §V, p. 188. Le texte original latin que traduit Rabuel est le suivant : « Hinc scriptionum omnium quæ ab eo sunt profectæ, pluris illæ, me judice, faciendæ sunt, quæ proprius pertinent ad has disciplinas. Ergo primas in his obtinet, quæ Geometria ab eo inscripta est, secundas Dioptrice ». Sur Huet, cf. Azouvi, *op. cit.*, p. 75 et Neto, « Huet sceptique cartésien ». On sait que Huet s'est passionné pour la géométrie : Neto, *ibid.*, p. 226.

²⁷ Pour plus détails, voir (Introduction, parties 2, 3 et 4). Cf. également Azouvi, *op. cit.*, p. 85-86 et Froeschlé-Chopard et Froeschlé, « "Sciences et Arts" dans les Mémoires de Trévoux (1701-1762) », p. 41-48 sur la défense par les Jésuites de la physique cartésienne contre les thèses newtoniennes dans les *Mémoires de Trévoux*.

²⁸ Le père Grégoire de Saint-Vincent (1584-1667) est un jésuite flamand dont l'œuvre majeure est l'*Opus Geometricum* (1647), ouvrage volumineux de plus de mille-deux-cents pages consacré aux coniques et à des problèmes de quadrature, dont l'objectif final est de proposer une quadrature du cercle. Pour des études, cf. Naux, « L'*Opus Geometricum* de Grégoire de Saint-Vincent », Dhombres, « L'innovation comme produit captif de la tradition » et Dhombres, « Une mathématique baroque en Europe », p. 166-178.

²⁹ Cf. *Encyclopédie*, Discours préliminaire, t. I (1751), p. xxv. Pour plus de détails sur la réception de *La Géométrie* de Descartes dans l'*Encyclopédie*, cf. Spallanzani, *L'arbre et le labyrinthe*, Chap. III, p. 131-136.

³⁰ La méthode des coefficients indéterminés consiste à comparer pour les déterminer les coefficients indéterminés d'une équation générale dont dépend un problème (ou un objet) géométrique aux coefficients de l'équation tirée de l'analyse algébrique du problème en posant que ces deux équations sont de la même forme *i.e.* ont leurs coefficients identiquement égaux. Son principe est décrit par Descartes à la suite de la méthode des normales au sein de laquelle elle joue un rôle pivot. Cf. Descartes, *Géométrie*, p.

Mais revenons à l'éloge de Descartes et à cette alliance proposée entre, d'un côté, Descartes et sa *Géométrie*, et, de l'autre, Grégoire de Saint-Vincent et son *Opus Geometricum*. Force est de constater qu'une telle alliance est quelque peu forcée, en raison du style de composition et de l'architecture essentiellement différents des deux ouvrages. D'abord, un peu plus de cent pages pour le premier, plus de mille deux-cents pages pour le second dont « la diversité [des] chapitres qui se succèdent le plus souvent sans ordre apparent, donne d'abord une impression pénible [malgré] une marche convergente vers un but unique : la démonstration de la quadrature du cercle » (Naux, « L'*Opus Geometricum* de Grégoire de Saint-Vincent », p. 94). Cela s'oppose bien sûr au souci de brièveté et d'ordre cartésien³¹. En découle assez naturellement un jugement peu amène de Descartes sur le traité de Saint-Vincent, exprimé dans la lettre à Schooten du 9 avril 1649, après que le premier avait sollicité son avis sur l'ouvrage :

Je ne vous renvoye pas encore vos livres, pour ce que ie n'ay pas eu le temps de les lire ; mais i'en ai assez veu pour remarquer un paralogisme dans la quadrature du cercle prétendue ; & ie n'ay encore rien rencontré dans tout ce gros livre, sinon des propositions si simples & si faciles, que l'auteur me semble avoir mérité plus de blasme d'avoir employé son temps à les écrire, que de gloire de les avoir inventées. (Descartes, *Lettres* III, p. 617-618 et AT V, 338-339)³²

C'est sur cette opposition de style qu'est construite, en un sens, toute l'entreprise du commentaire de Rabuel, qui va transformer l'ouvrage bref et concis de Descartes conçu pour l'honnête homme, en un manuel « diffus » à destination des étudiants en mathématiques des collèges jésuites.

Ajoutons pour terminer que Descartes fait lui-même à plusieurs reprises dans sa correspondance l'éloge de sa *Géométrie*, en réaction aux critiques et controverses, ce que ne manque pas de rappeler Rabuel dans son introduction (*Commentaires*, p. 2) en citant deux de ces lettres³³.

3.2. Un contexte d'enseignement

On sait que Descartes avait le souhait que sa philosophie fût enseignée dans les collèges jésuites (Van Damme, *Descartes*, p. 102-103). Il eut vraisemblablement le même projet pour *La Géométrie* comme le montre sa lettre à Mersenne du 27 juillet 1638 :

Que si on trouve que l'introduction que i'ay dernièrement envoyée y puisse ayder [à faire entendre la *Géométrie*], ie ne seray pas marri que les Iesuites la voient aussy ; car ie voudrois bien que plusieurs la pussent entendre. (Descartes, AT II, 276 et *Lettres* III, 377)³⁴

Descartes trouva ainsi en la personne du P. Rabuel celui qui concrétisa, bien plus tard, son projet.

Le commentaire de Rabuel prend son origine dans les leçons qu'il a professées à des *commençants* sur *La Géométrie* de Descartes, « ceux qui l'étudient pour la première fois » (Rabuel, *Commentaires*, p. 1). Lespinasse indique ainsi dans sa préface :

351 et AT VI, 423. Il ajoute à son sujet que ce n'est pas « l'une des moindres [inventions] de la méthode dont [il] se sert ». La méthode des coefficients indéterminés joue aussi un rôle essentiel, mais *caché*, dans la résolution du problème de Pappus et la construction des équations. Cf. Bos, *Redefining geometrical exactness*, resp. p. 318-324 et 363-372.

³¹ Sur le style géométrique cartésien, voir l'analyse donnée par Descotes, « Aspects littéraires de la *Géométrie* de Descartes ». Le souci de brièveté est celui de l'honnête homme (*ibid.*, p. 169).

³² Descartes précise ensuite l'erreur commise par Saint-Vincent dans sa quadrature du cercle. Une variante du texte est donnée à partir d'une lettre de Christian Huygens dans AT V, 565. Sur Descartes et Grégoire de Saint-Vincent, voir aussi les deux lettres de Descartes à des destinataires inconnus de [juin 1645 ?] (AT III, 458 et AT IV, 227), et de 1649 ou 1650 (AT V, 465) où le jugement de Descartes paraît plus favorable à Grégoire de Saint-Vincent, il est vrai dans le contexte d'une polémique entre ce dernier et Roberval. Voir enfin la lettre de Schooten à Descartes : Descartes, *Lettres* III, p. 614 et AT V, 318-319.

³³ Cf. la lettre « à un Pere Jesuite » [d'octobre 1637] : Descartes, *Lettres* III, 114-115 et AT I, 457-458 ; ainsi que la lettre à Mersenne de [fin décembre 1637] : Descartes, *Lettres* III, 427-428 et AT I, 478-479.

³⁴ Je cite ici l'autographe édité par Adam et Tannery qui diffère quelque peu, dans la formulation mais non dans le sens, du texte de Clerselier.

Le R.P. RABUEL [ne] travailla d'abord [à son commentaire] que pour servir aux jeunes Jésuites, qui étudioient sous lui les Mathématiques. C'étoient des Commençans qu'il falloit aider, & à qui il ne vouloit rien laisse ignorer de tout ce que M. DESCARTES ne fait qu'indiquer. Il falloit rapprocher de leur principe une foule de conséquences éloignées, en faire voir la liaison, & le rapport nécessaire. (Rabuel, *Commentaires*, Préface)

Comme il est fréquent à l'époque chez les professeurs de mathématiques jésuites, l'ouvrage de Rabuel apparaît comme le fruit de ses propres cours et vise à offrir le support standardisé d'un enseignement des mathématiques pour les élèves des collèges jésuites³⁵. C'est le cas par exemple des *Éléments de géométrie* d'Ignace-Gaston Pardies (1636-1674), professeur au collège de Clermont à Paris, qui paraissent une première fois en 1671, et seront de nombreuses fois réédités, par exemple au sein de l'édition lyonnaise des *Œuvres* de 1725. Plus proches de Rabuel, parmi les professeurs de mathématiques au Collège de la Trinité³⁶, on peut citer avant lui le P. Claude Milliet de Chales déjà mentionné. Un peu plus tard que Rabuel, le P. Duclos (1695-1743), professeur de mathématiques au collège de Lyon de 1731 à 1735³⁷, publie en 1737 des *Eléments de Mathématiques* tirés de son enseignement, dont le livre neuvième expose des « Principes d'analyse » appliqués à la résolution de problèmes géométriques conduisant à des équations du premier et du second degré (Duclos, *Eléments de Mathématiques*, p. 176-214).

Au contraire de Pardies ou Duclos qui proposent, dans une visée pédagogique, des réécritures de la géométrie d'Euclide au sein de leurs manuels, mais ajoutent néanmoins un système de références aux propositions originales euclidiennes, Rabuel prend pour modèle le commentaire des *Éléments* d'Euclide donné par son illustre devancier Clavius et l'applique à *La Géométrie* de Descartes. Comme chez Clavius, on peut distinguer deux niveaux de texte : d'un côté, le texte de *La Géométrie* de Descartes qu'annonce un « M. DESCARTES », suivi des commentaires de Rabuel, dans une taille de caractères plus petite, organisés en articles, comprenant parfois les énoncés de « règles » ainsi que des problèmes supplémentaires³⁸. On en trouvera un exemple dans la FIGURE 1.

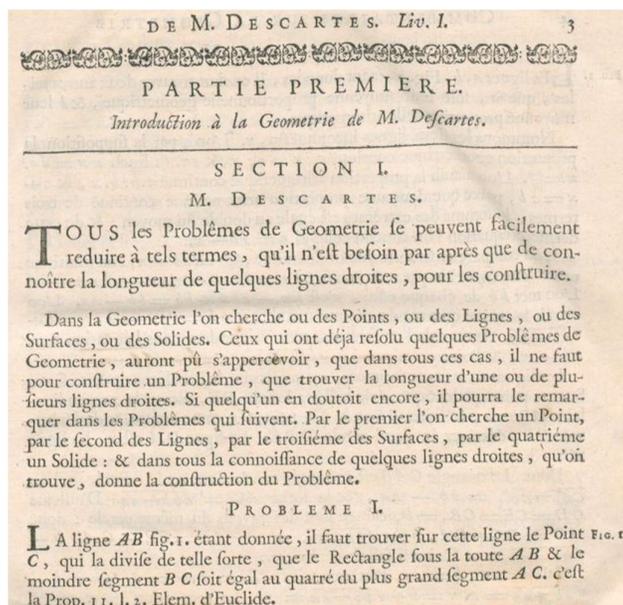


Fig. 1 : Texte de *La Géométrie* de Descartes et commentaire de Rabuel suivi d'un problème tiré des *Éléments* d'Euclide (Livre II, Prop. 11) : (Rabuel, *Commentaires*, p. 3)

³⁵ Sur l'enseignement des mathématiques chez les Jésuites durant cette période, voir Dainville, « L'enseignement scientifique dans les collèges des jésuites », p. 51-60.

³⁶ Voir *supra* la note 9.

³⁷ Voir Introduction, parties 1 et 4 ainsi que Dainville, « L'enseignement des mathématiques dans les collèges Jésuites », p. 115.

³⁸ On retrouve cette même disposition typographique dans l'édition de Clavius pour le texte euclidien et les scholies de l'éditeur. Sur le commentaire de Clavius aux *Éléments* d'Euclide, voir Rommevaux, *Clavius, une clé pour Euclide au XVI^e siècle*, p. 33-58.

Rabuel opère donc différemment de Schooten qui a fait le choix dans ses deux éditions latines (Descartes, *Geometria* 1649 et Descartes, *Geometria* 1661) de présenter d'abord *in extenso* la traduction latine de *La Géométrie* de Descartes en y insérant uniquement des appels de notes, et de repousser à la toute fin ses propres commentaires, placés même après la traduction latine des *Notes Brèves* de Debeaune³⁹.

3.3. Les omissions de Descartes et les commentaires de Rabuel

Dans sa préface, Lespinasse insiste tout d'abord sur trois caractéristiques du texte cartésien qui sont étroitement liées les unes aux autres. On pourrait dire en trois adjectifs que *La Géométrie* est difficile, brève et générale, difficile parce que brève, brève parce que générale. Voici ce qu'écrit Lespinasse :

[*La Géométrie*] étoit d'une difficulté presque insurmontable. M. DESCARTES avoit affecté de [la] resserrer dans les bornes les plus étroites. Bien des raisons, qu'on peut voir dans ses lettres, l'y avoient engagé. Messieurs de Beaune, de Fermat, de Witt, &c. en ont développé quelques endroits. M. de Schooten a voulu éclaircir le tout ⁴⁰ ;

M. DESCARTES resout le Problème de Pappus dans le cercle ; mais cette solution est generale [...] Il falloit tout développer ; de là ces différentes applications du problème, ce grand nombre d'Exemples, qui quoiqu'uniformes en apparence ont cependant, presque tous, chacun une difficulté que M. DESCARTES avoit envisagée, & dont il ne parloit pas, parce qu'il s'ennuyait d'en tant écrire⁴¹. (Rabuel, *Commentaires*, Préface)

La Géométrie de Descartes, en raison de la concision voulue par son auteur et de sa difficulté, appelle donc pour être comprise, en particulier des commençants, des commentaires et des développements. Dans son introduction, Rabuel, pour justifier « combien [la] Geometrie a besoin d'explication », fait ainsi référence à une lettre à Mersenne [de fin 1637 ?] où Descartes « assure qu'il y a peu de gens, qui puissent entendre sa Geometrie »⁴².

Il est donc nécessaire de développer les solutions des problèmes géométriques en comblant les omissions de Descartes dans la construction et la démonstration, qu'elles concernent, comme on va le voir, la démonstration d'un théorème élémentaire et classique supposé connu du lecteur ou *a contrario* des parties non triviales de l'argument. D'autre part, il faut traiter de la façon la plus exhaustive possible un grand nombre de cas de figure et d'exemples associés au problème, au risque de l'uniformité et de la répétition. D'où trois types de commentaires : élémentaire, avancé, et exemplifiant.

Ces trois types de commentaires répondent à des remarques et à des demandes faites par

³⁹ Cette prééminence accordée aux *Notes Brèves* de Debeaune sur les autres commentaires fait vraisemblablement écho au jugement très favorable, et donc assez exceptionnel, que Descartes porte sur les *Notes Brèves* et son auteur : cf. la lettre de Descartes à Debeaune du 20 février 1639 (AT II, 510).

⁴⁰ Debeaune est l'auteur des *Notes Brèves* et de deux écrits posthumes sur les équations et de Witt des *Elementa curvarum linearum*, textes que Schooten a insérés dans la seconde édition latine de *La Géométrie* de 1659-1661 avec son commentaire et ses propres écrits, ainsi que ceux de Hudde et de van Heuraet, non mentionnés ici. Si les *Notes Brèves* offrent un commentaire de *La Géométrie*, les *Elementa curvarum linearum* proposent bien un développement de la géométrie cartésienne consacré à une description des coniques au moyen d'une approche successivement cinématique et algébrique. Pour plus de détails sur les commentaires sur *La Géométrie* et les éditions latines de Schooten, cf. Maronne, *La théorie des courbes et des équations*, p. 11-29. Quant à Fermat, connaissant l'âpre controverse avec Descartes sur les tangentes qui eut lieu en 1638 (Maronne, *op. cit.*, p. 291-332), on est très étonné d'une telle mention. Elle trouve peut-être son origine, parmi d'autres, dans l'usage par Schooten dans son commentaire sur *La Géométrie* de la méthode de Fermat pour déterminer la normale à la conchoïde, à la suite de celle de Descartes : Descartes, *Geometria* 1659-1661, I, p. 250-256 et Maronne, *op. cit.*, p. 23-24.

⁴¹ Descartes écrit dans *La Géométrie* au sujet du problème de Pappus : « & ie tascheray d'en mettre la demonstration en peu de mots : car il m'ennuie desia d'en tant écrire » : Descartes, *Géométrie*, p. 309 et AT VI, 382.

⁴² Cf. Descartes, *Lettres* III, Lettre 3, p. 427 et AT I, 478. Clerselier dans sa préface au second volume des lettres indique que *La Géométrie* fait partie des écrits de Descartes « *Acroamatiques*, c'est-à-dire, difficiles, relevez, & qui, estant plus serrez, demandent l'explication du Maistre, ou du moins une attention fort serieuse du Lecteur », avec les *Principes de Philosophie* et la *Dioptrique*, par opposition aux écrits *exotériques*, comme le *Discours de la Méthode*. Cf. Descartes, *Lettres* II, Préface, p. 2.

Descartes dans *La Géométrie* et dans sa Correspondance éditée par Clerselier. C'est le *topos* bien connu dans l'historiographie cartésienne des « omissions »⁴³.

Des « vérités fort bien démontrées »

Descartes précise dans l'avertissement placé en tête de *La Géométrie*⁴⁴, qui la distingue des essais précédents de *La Dioptrique* et des *Météores* :

Iusques icy j'ay tasché de me rendre intelligible a tout le monde ; mais, pour ce traité, ie crains, qu'il ne pourra estre leu que par ceux qui sçavent desia ce qui est dans les livres de Geometrie : car, d'autant qu'ils contiennent plusieurs vérités fort bien démontrées, i'ay creu qu'il seroit superflus de les repeter, & n'ay pas laissé, pour cela, de m'en servir (Descartes, *Géométrie*, p. 296 et AT VI, 368), cité dans Rabuel, *Commentaires*, p. 245

Cet avertissement présent dans l'édition originale de 1637, et cité par Rabuel, a disparu dans les éditions latines et françaises postérieures de *La Géométrie* de 1649, 1659-1661, 1664 et 1705. Une explication plausible est que ces éditions postérieures de *La Géométrie*, à part, ne s'adressent plus à l'honnête homme, comme c'était le cas des *Essais*, mais au mathématicien, à tout le moins à l'étudiant en mathématiques. Symétriquement, *La Géométrie* ne sera plus éditée dans les éditions postérieures du *Discours de la Méthode et des essais*, sinon sous forme d'extraits. Cela débute avec la deuxième édition du *Discours de la Méthode* publiée par Le Gras en 1658 (rééd. 1668) qui ne contient plus que la *Dioptrique* et *Les Météores*⁴⁶.

L'honnête homme est ici prévenu que des connaissances mathématiques de base sont requises pour entendre *La Géométrie*, contrairement aux autres essais⁴⁷, et que conformément à l'usage en mathématiques, du moins dans un traité et non un manuel, on omet de démontrer certains énoncés car on juge leurs démonstrations évidentes ou bien connues du lecteur⁴⁸. Rabuel, en substituant à l'honnête homme l'étudiant en mathématiques, le *commençant*, se doit donc de préciser et démontrer, le cas échéant, ces « vérités fort bien démontrées » : c'est le premier type de commentaire requis par *La Géométrie* de Descartes.

Les omissions de Descartes

Descartes fait référence à un second type d'omission à plusieurs reprises dans *La Géométrie* :

Mais ie ne m'aresté point a expliquer cecy plus en détail, a cause que ie vous osterois le plaisir de l'apprendre de vous mesme, & l'utilité de cultiver vostre esprit en vous y exerçant, qui est, a mon avis, la principale

⁴³ Voir, par exemple, Serfati, « Constructivisme et obscurités dans la *Géométrie* de Descartes », p. 18-22 sur « la stratégie du secret de Descartes » ainsi que Descotes, « Aspects littéraires de la *Géométrie* de Descartes », p. 189-190. Pour une analyse littéraire d'ensemble de la dissimulation chez Descartes, cf. également Hallyn, *Descartes, dissimulation et ironie* qui consacre les seules pages 62-64 à *La Géométrie*. Le célèbre *larratus prodeo* des *Cogitationes Privata* éditées par Foucher de Careil (AT X, 213) résume cette posture cartésienne en une formule qui a frappé les commentateurs de Descartes : cf. par exemple Leroy, *Descartes, le philosophe au masque*.

⁴⁴ Dans la suite, je donne les références à l'essai de 1637 et cite le texte édité dans AT VI, 367-485 dont la ponctuation et l'orthographe peuvent différer de l'édition originale.

⁴⁵ Par exemple, Descartes fait référence dans sa résolution du problème de Pappus aux constructions des coniques faites par Apollonius : cf. Descartes, *Géométrie*, p. 329-332 et AT VI, 402-404. Il s'agit des propositions I.52-54 (Apollonius, *Conicorum Libri quattuor*, p. 36v-40r). Dans la méthode des normales, il s'appuie également sur l'« équation » de l'ellipse donnée dans la proposition I.13 (Apollonius, *op. cit.* p. 15r-16r).

⁴⁶ Pour plus de détails sur ces éditions, cf. Otegem, *Bibliography*, I, p. 19sq.. Il n'est qu'à voir enfin l'édition moderne de l'honnête homme, c'est-à-dire l'édition Gallimard de la Pléiade, qui ne contient plus que des extraits de *La Géométrie*.

⁴⁷ L'honnête homme, si l'on peut dire prototypique, Constantin Huygens, confesse à son ami Descartes ses difficultés de lecture et de compréhension de *La Géométrie* dans sa lettre du 24 mars 1637 et prétend devoir s'adjoindre pour ce faire les services de Schooten : cf. AT I, p. 626-627.

⁴⁸ Voir aussi la lettre [à Huygens ?] d'[octobre 1639] dans laquelle Descartes écrit au sujet de la controverse avec le mathématicien flamand Stampioen :

Tout de mesme que, lors qu'on suppose des Theoremes d'Euclide, sans les demonstren, en quelque proposition de Geometrie, ce sont veritablement des omissions au regard de ceux qui les ignorent, mais elles ne sont nullement reprehensibles pour cela [...] (Descartes, *Lettres* III, 420 et AT II, 606)

qu'on puisse tirer de cete science. (Descartes, *Géométrie*, p. 301 et AT VI, 374)⁴⁹

Conséquemment, la conclusion célèbre de *La Géométrie* confie aux « neveux » la tâche de combler les dites omissions :

Et j'espère que nos neveux me sauront gré, non seulement des choses que j'ay ici expliquées, mais aussy de celles que j'ay omises volontairement, affin de leur laisser le plaisir de les inventer. (Descartes, *Géométrie*, p. 413 et AT VI, 485)

Si l'on suit Descartes, ses omissions, en offrant au lecteur de s'exercer lui-même *méthodiquement* à l'art d'inventer en géométrie, sont les marques du discours de l'honnête homme⁵⁰. Un argument supplémentaire nous est donné par les modalités de lecture de *La Géométrie* selon Descartes : en effet, la lecture « ne se peut [en] faire que la plume à la main, et suivant tous les calculs qui y sont »⁵¹ et requiert donc une action, une pratique, à la différence de la lecture d'un texte littéraire ou philosophique.

À nouveau, Rabuel vise à répondre dans ses *Commentaires* à ce souhait de Descartes :

[Le P. Rabuel] fait plus : pour apprendre à son Lecteur *l'art d'inventer & de trouver*, il le conduit, comme par la main, dans les routes qu'a tenuës M. DESCARTES, & lui fait voir par quel chemin ce grand Geometre est arrivé où nous le voyons. (Rabuel, *Commentaires*, Préface)⁵²

C'est là un deuxième type de commentaire mathématiquement plus avancé.

Suite à la réception controversée de *La Géométrie*, les intentions de Descartes apparaissent différentes dans la correspondance. Pour justifier ses *Commentaires*, Rabuel cite ainsi un passage d'une lettre à Mersenne du 20 avril 1646 dans lequel Descartes revendique à nouveau les omissions faites dans *La Géométrie* :

Seulement y ai-je obmis quantité de choses, qui auroient pû servir à la rendre plus claire, ce que j'ay fait à dessein, & je ne voudrais pas y avoir manqué [...] Rien ne m'avoit cy-devant fait proposer de la refaire, que pour l'éclaircir en faveur des Lecteurs ; mais je vois qu'ils sont pour la pluspart si malins, que j'en suis entierement degousté. (Descartes, *Lettres* III, 521 et AT IV, 394), cité par Rabuel, *Commentaires*, p. 253

On retrouve en de nombreuses autres lettres des « aveux » de Descartes sur ces omissions. L'expression 'esprit malin' apparaît ainsi pour la première fois dans la lettre de Descartes à Mersenne du 31 mars 1638 en référence aux critiques exprimées sur la solution cartésienne du problème de Pappus par Roberval :

Mais le bon est, touchant cette question de Pappus, que ie n'en ay mis que la construction, & la demonstration {entiere}, sans en mettre toute l'Analyse, laquelle ils s'imaginent que j'ay mise seule, en quoy ils tesmoignent qu'ils y entendent bien peu ; Mais ce qui les trompe, c'est que j'en fais la construction, comme les Architectes font les bastimens, en prescrivint seulement tout ce qu'il faut faire, & laissant le travail des mains aux Charpentiers & au Massons [...] *Pour l'analyse, j'en ay obmis une partie, afin de retenir les esprits malins en leur devoir.* (Descartes, *Lettres* III, 395 : cf. avec AT II, 83)⁵⁴

⁴⁹ Cf. aussi Descartes, *Géométrie*, resp. p. 350-351 et 389, AT VI, resp. 422-423 et 464.

⁵⁰ Cette interprétation est donnée dans Descotes, *op. cit.*, p. 169.

⁵¹ Descartes écrit cette recommandation dans une lettre à un destinataire inconnu (Clerselier indique « A un Reverend Pere Jesuite ») datée par Adam-Tannery d'octobre 1637 : cf. Descartes, *Lettres* III, 115 et AT I, 457.

⁵² Rabuel ajoute dans son introduction que son commentaire est nécessaire pour lire et comprendre *La Géométrie* « surtout si l'on ne se contente pas d'entrevoir, que les choses peuvent être telles que l'Auteur les assure ; mais qu'on veuille se convaincre par les operations necessaires, qu'elles le sont en effet. » (Rabuel, *Commentaires*, p. 1)

⁵³ La citation est tronquée à dessein par Rabuel. Descartes ajoute en effet « [qu'il n'a pas besoin de refaire *La Géométrie*], ny d'y adjoûter rien de plus, pour la rendre recommandable à la postérité ».

⁵⁴ Je cite ici la version de Clerselier tirée de la minute. Elle diffère de l'autographe édité par Adam et Tannery. En particulier, 'entiere', que j'ai placé entre accolades, figure dans l'autographe mais pas dans le texte de Clerselier. Voir aussi la lettre de Descartes à Mersenne du [1er mars 1638] : Descartes, *Lettres* III, 191 et AT II, 30.

Dans ses *Commentaires*, Rabuel relève cette omission et indique qu'il ajoute « cette partie de la resolution, qui avoit été omise » (Rabuel, *Commentaires*, p. 149^{sq}). Descartes se confie également sur ses omissions dans la lettre à Debeaune du 20 février 1639, qui est mise à profit par Rabuel⁵⁵.

À la lecture de la Correspondance, les omissions de *La Géométrie* paraissent relever d'une stratégie de dissimulation, néanmoins décrite comme telle *a posteriori* par Descartes, au sens usuel du terme dans l'historiographie (par exemple, la dissimulation baroque des libertins⁵⁶), et sont l'expression d'une prudence ou d'une défiance vis à vis de l'incompréhension et du plagiat. Mais, quelles que soient les intentions de Descartes, le texte de *La Géométrie* appelle, comme on l'a déjà dit, un deuxième type de commentaire, plus élaboré mathématiquement.

Omission et oubli

Il importe de distinguer l'omission *volontaire* de l'oubli qui marquerait une lacune dans la solution d'un problème. Cette distinction est essentielle pour Descartes, au regard de sa méthode et de son application en philosophie. En effet, la quatrième et dernière règle du *Discours de la Méthode* requiert pour achever la résolution d'un problème « de faire partout des denombrements si entiers, & des revuës si generales, qu'[on] fusse assuré *de ne rien omettre* » (AT VI, 19).

Descartes se défend donc avec vigueur contre Roberval dans sa lettre à Carcavi du 17 août 1649⁵⁷ de s'être rendu coupable d'une faute et d'une omission dans sa construction des équations du cinquième et sixième degré au moyen d'un cercle et de la parabole cubique cartésienne, en n'ayant pas considéré l'une des deux branches de cette dernière courbe⁵⁸, niant que « la compagne de la courbe soit absolument nécessaire en [sa] règle » et ajoutant :

Et on peut voir que ie ne l'ay point omise faute de la connoistre, pource que ie l'ay representée dans la page 336 [de La Géométrie] pour une autre occasion où elle est utile. (Descartes, Lettres III, 448 et AT V, 399)⁵⁹

À nouveau, Rabuel cite et discute la réponse de Descartes (Rabuel, *Commentaires*, p. 574).

Les exemples de Rabuel et la généralité cartésienne

C'est dans le troisième type de commentaire qu'il procure que Rabuel se trouve le plus en porte-à-faux par rapport à Descartes et à *La Géométrie* car en exemplifiant, parfois à outrance, il entre en conflit avec le souci de brièveté et de généralité cartésiens⁶⁰. Dans son introduction, Rabuel reconnaît les limites d'une telle stratégie, qui ennuiera et impatientera les meilleurs esprits, mais paraît viser un autre auditoire, celui des esprits « moins pénétrants [qui] ont besoin d'un plus grand secours »⁶¹ :

[...] les habiles & les commençans qui ont beaucoup de penetration souffrent impatientement les

⁵⁵ Cf. Descartes, *Lettres* III, 409-410 et AT II, 511-512. Cette lettre contient selon Serfati « l'exposé le plus achevé de Descartes quant à sa stratégie du secret » (Serfati, *op. cit.*, p. 18-19). Sur son contenu mathématique, cf. Maronne, *La théorie des courbes et des équations*, p. 96-100. Rabuel cite plusieurs fois cette lettre à Debeaune en répondant aux remarques qui y sont faites par Descartes sur ses omissions dans la solution du problème de Pappus : Rabuel, *Commentaires*, p. 84, 151, 153, 212.

⁵⁶ Cf. Hallyn, *op. cit.*, p. 11-15.

⁵⁷ Cf. Descartes, *Lettres* III, 447-448 et AT V, 397-399.

⁵⁸ Cette accusation est pour la première fois exprimée dans la lettre de Roberval contre Descartes d'[avril 1638] : Descartes, *Lettres* III, 321 et AT II, 113-114.

⁵⁹ Descartes fait référence au fait que la parabole cubique cartésienne est solution d'un problème de Pappus à 5 lignes, dont quatre sont parallèles, et la cinquième les coupe à angles droits.

⁶⁰ Sur la question de la généralité chez Descartes, cf. Maronne, « Pascal versus Descartes », p. 538-550.

⁶¹ Pour paraphraser la formule d'une célèbre collection de livres, les *Commentaires* de Rabuel serait donc une « *Géométrie* de Descartes pour les nuls ». Plus sérieusement, les auditoires des collèges jésuites de l'époque n'autorisaient sans doute pas un enseignement plus exigeant de *La Géométrie* de Descartes. Cf. Dainville, « L'enseignement scientifique dans les collèges des jésuites », p. 60-64.

explications étendues : mais ils peuvent parmi le grand nombre d'exemples choisir ceux qu'ils aimeront mieux examiner, & se souvenir que les esprits moins pénétrants ont besoin d'un plus grand secours ; & que, comme ces derniers composent le plus grand nombre, & que par leur application plus constante ils font souvent de très-grands progrès dans les Sciences, ils méritent qu'on les aide dans les commencemens. (Rabuel, *Commentaires*, p. 2)

Rabuel a ainsi développé la solution *générale* du problème de Pappus, comme l'indique Lespinasse dans sa *Préface*, en un très grand nombre d'exemples chacun liés à un cas de figure particulier dans la partie seconde intitulée « suite de la question de Pappus » (Rabuel, *Commentaires*, p. 145-289) qui occupe 145 pages, soit davantage de pages que *La Géométrie* toute entière et le quart de son commentaire. Cette opposition général-particulier se retrouve dans les titres des sections et des articles de cette partie (cf. Annexe I).

A contrario, Descartes écrit au sujet de sa solution du problème de Pappus dans sa lettre à Mersenne du 31 mars 1638 :

Or par cette seule équation $y \parallel m - \frac{n}{z}x + \sqrt{mm + ox - \frac{p}{m}xx}$ de la page 326 en changeant seulement les marques + & -, ou supposant quelques termes pour nuls, ie comprends toutes celles qui peuvent se rapporter à quelque lieu plan, ou solide. *Ie ne croy pas qu'il soit possible de rien imaginer de plus general, ny de plus court, ou de plus clair & de plus facile que cela, ny que ceux qui l'auront une fois compris, daignent apres prendre la peine de lire les longs Escrits des autres sur cette matiere.* (Descartes, *Lettres* III, 396 et AT II, 84)⁶²

Une autre lettre de Descartes à Mersenne du 23 août 1638 est également très significative de l'écart voire de l'opposition entre Descartes et Rabuel quant aux lecteurs auxquels chacun s'adresse :

Et enfin en la page 389, ie mets en 5 ou 6 lignes la regle generale qui peut servir pour toutes les autres equations⁶³ ; non point a dessein de l'enseigner a un chacun, car il m'eut fallu faire un tres gros livre, si j'eusse voulu expliquer assez au long pour cet effect tout ce que j'avois a y mettre, & j'ay mieux aymé estre succinct en plusieurs endroits, pour donner moyen a ceux qui auront le plus d'esprit d'y trouver quelque chose de plus que les autres. (AT II, 328)⁶⁴

Pour conclure, que Descartes ait omis des éléments dans la construction et la démonstration des problèmes géométriques qu'il affirmait pourtant avoir résolu dans sa *Géométrie* était donc connu des mathématiciens de l'époque, comme le montrent les citations de Rabuel. Une preuve *textuelle* tient au fait que les lettres qui contiennent ces aveux faits par Descartes figurent toutes, sauf une⁶⁵, dans l'édition de Clerselier. Les lecteurs de cette période n'ignoraient donc pas qu'ils devaient combler des omissions dans *La Géométrie*.

D'autre part, la double interprétation *ambivalente* des omissions cartésiennes, positive ou négative quant aux intentions de son auteur, selon que l'on privilégie la posture du secret et de la dissimulation ou celle de l'honnête homme, la Correspondance ou le texte de *La Géométrie*, ne saurait être véritablement tranchée dans un sens plutôt qu'un autre.

⁶² À nouveau, je donne le texte de Clerselier. Il diffère de l'autographe édité par Adam et Tannery en plusieurs endroits. Clerselier utilise le symbole « \parallel » pour désigner l'égalité.

⁶³ Il s'agit de la « Façon generale pour construire tous les problemes solides, reduits a une Equation de trois ou quatre dimensions ».

⁶⁴ Ce passage n'est pas édité par Clerselier.

⁶⁵ Il s'agit de la lettre de Descartes à Mersenne du 4 avril 1648 : cf. AT V, 142-143. Descartes y écrit :

Mais ie vous avouë que, sans la consideration de ces esprits malins, ie l'aurois escrite tout autrement que ie n'ay fait, & l'aurois renduë beaucoup plus claire ; ce que ie feray peutestre encore quelque iour, si ie voy que ces monstres soient assez vaincus ou abaissez.

Remarquons à nouveau qu'il s'agit d'une reconstruction *a posteriori* de Descartes et que *La Géométrie* offre une perspective différente.

3.4. La structure de *La Géométrie* selon Rabuel

La transposition par Rabuel du modèle classique du commentaire de Clavius à *La Géométrie* de Descartes nécessite en outre que le commentateur jésuite exhibe une *structure* de *La Géométrie*, car, comme on le sait bien, le texte de Descartes n'est pas écrit en suivant le modèle classique euclidien des définitions et propositions⁶⁶. Rabuel propose donc un plan de *La Géométrie* (voir Annexe I pour ce plan) et décompose chacun des trois livres en parties, sections et articles en s'aidant (sans la reproduire) des titres de la « Table des matieres de la Geometrie »⁶⁷ qu'on retrouve indiqués en marge dans la publication de 1637. Au sein de cette structure hiérarchique à trois niveaux, on trouve en outre des problèmes supplémentaires traités par Rabuel qui ont pour charge d'illustrer des 'règles' ou des 'méthodes' sur un thème donné⁶⁸.

Il est instructif de présenter la structure de premier niveau de *La Géométrie* proposée par Rabuel en spécifiant le nombre de pages pour chacune des parties et la part relative par rapport à l'ensemble, et en comparant dans le même temps ces parts relatives dans les *Commentaires* de Rabuel et dans *La Géométrie* de Descartes (voir Table 1)⁶⁹.

Parties (Titre)	Rabuel	<i>La Géométrie</i>
Livre I	3-91 / 89 p. / 15%	297-314 / 18 p. / 16%
<i>I.1</i> : Introduction	3-47 / 45 p. / 7,5%	297-302 / 6 p. / 5%
<i>I.2</i> : Problèmes plans	47-61 / 15 p. / 2,5%	302-304 / 3 p. / 2%
<i>I.3</i> : Question de Pappus	61-91 / 31 p. / 5%	304-314 / 11 p. / 9%
Livre II	91-412 / 322 p. / 55%	315-369 / 55 p. / 46%
<i>II.1</i> : Courbes	91-145 / 55 p / 9,5%	315-323 / 9 p. / 7%
<i>II.2</i> : Question de Pappus	145-289 / 145 p / 24,5%	323-341 / 19 p. / 15%
<i>II.3</i> : Propriétés des courbes géométriques	289-338 / 50 p. / 8,5%	341-352 / 12 p. / 9,5%
<i>II.4</i> : Ouales	338-398 / 61 p. / 10%	352-368 / 17 p. / 13,5%
<i>II.5</i> : Courbes dans l'espace	398-412 / 15 p. / 2,5%	368-369 / 2 p. / 1%
Livre III	412-590 / 179 p. / 30%	369-413 / 45 p. / 38%

⁶⁶ Sur le style d'écriture de *La Géométrie*, je renvoie à nouveau à Descotes, « Aspects littéraires de la *Géométrie* de Descartes ».

⁶⁷ Cf. Descartes, *Géométrie*, fin du livre, non paginée et AT VI, 511-514.

⁶⁸ Voir par exemple les « 12 Regles generales pour les Problèmes » illustrées par autant de problèmes (Rabuel, *Commentaires*, p. 20-47) et au sujet de la description des courbes géométriques, les six règles présentées par Rabuel pour « décrire une courbe en cherchant plusieurs de ses points » illustrées par quatre problèmes (Rabuel, *Commentaires*, p. 127-138), suivies de trois autres 'méthodes' pour décrire les courbes (*ibid.*, p. 138-144). Cf. également *infra* section 5.2.

⁶⁹ Dans la table, j'abrège les titres des parties. Pour les titres complets donnés par Rabuel, voir Annexe I.

III.1 : Courbes et construction des problèmes	412-420 / 9 p. / 1,5%	369-371 / 3 p. / 1,5%
III.2 : Nature des équations	420-450 / 31 p. / 5%	371-380 / 10 p. / 8%
III.3 : Résolution des équations	450-509 / 60 p. / 10%	380-389 / 10 p. / 8%
III.4 : Construction des équations de degré 3 et 4	509-566 / 58 p. / 9,5%	389-402 / 14 p. / 10,5%
III.5 : Construction des équations de degré 5 et 6	566-590 / 25 p. / 4%	402-413 / 12 p. / 10%

Table 1 : La structure de *La Géométrie* selon Rabuel

On peut tout d'abord remarquer que cette structure est très proche de celle donnée par Bos dans « La structure de la *Géométrie* », p. 303. Cela tend à signifier que Rabuel et Bos ont, en un certain sens, la même interprétation de *La Géométrie*, ce qui pourrait apparaître paradoxal, si l'on s'attendait à ce que Rabuel développe plutôt les parties « modernes » de *La Géométrie* en ce début de XVIII^e siècle (à savoir, la méthode des coefficients indéterminés et la méthode des tangentes). Pour Bos, la structure de *La Géométrie* est en effet déterminée par un objectif qui répond à un programme classique – fournir une méthode de résolution des problèmes géométriques – en contraste avec les méthodes modernes employées par Descartes. Il écrit :

Ainsi, les facteurs qui ont déterminé la structure de la *Géométrie*, en particulier les choix méthodologiques de Descartes, ont eu très peu d'influence sur les mathématiques ultérieures. Le livre exerça son influence, pour ainsi dire, en dépit de sa structure. *Dans cette dernière, le livre de Descartes n'était pas moderne ; il s'adaptait à la vision de son époque de la géométrie.* Mais cette vision fut bientôt dépassée, surtout, assez curieusement, comme le résultat de l'influence de la *Géométrie* elle-même (Bos, « La structure de la *Géométrie* », p. 315-316)

Cette première lecture, *globale*, qui demanderait bien sûr à être étayée par des études locales et plus détaillées, suggère que Rabuel a plutôt visé à proposer une exégèse du texte de Descartes, qu'une réinterprétation modernisante. Comme nous l'avons déjà noté, cette exégèse peut consister à compléter voire apporter des démonstrations des énoncés de Descartes. Rabuel écrit ainsi, en commentaire à un aveu d'omission de Descartes (Descartes, *Géométrie*, p. 389)⁷⁰ :

Nous apportons en chaque endroit la démonstration de ce que M. DESCARTES enseigne dans sa *Geometrie* (Rabuel, *Commentaires*, p. 492)

Une autre facette de cette exégèse, qu'on retrouve dans les éditions savantes des textes, tient à la *mise en rapport* des problèmes et des thèses de *La Géométrie* et des *Commentaires* au moyen de nombreux renvois et références internes dans le corps du texte à un autre article, section, ou partie. Rabuel propose ainsi une structure *dynamique* pour *La Géométrie* en identifiant des connexions et en livrant à son lecteur des chemins pour suivre un même thème ou un même problème au sein du texte.

L'archaïsme du commentaire de Rabuel apparaît aussi mis en évidence lorsqu'on le compare *quantitativement* à *La Géométrie* en considérant la taille des parties qui se correspondent dans les deux textes. En effet, à l'exception notable de la seconde partie du Livre II consacrée à la solution générale du problème de Pappus à 3 ou 4 lignes qui couvre chez Rabuel cent-quarante-cinq

⁷⁰ Nous avons cité ce texte auparavant : voir *supra* section 3.3.

pages, soit quasiment le quart du commentaire ! (bien plus que chez Descartes), les proportions de chacune des parties à l'ensemble sont à peu de choses près les mêmes dans les deux ouvrages, à dilatation près pourrait-on dire⁷¹. On n'observe ainsi pas de véritables déséquilibres entre les commentaires des différentes parties de *La Géométrie*, quels que soient par ailleurs la modernité ou, au contraire, l'archaïsme des problèmes mathématiques qui y sont considérés.

Si l'on ajoute à cela les nombreuses références aux « géomètres anciens » (cf. section 4), les *Commentaires* paraissent tournés vers le passé et la tradition ancienne de résolution des problèmes géométriques qui culmine avec *La Géométrie* de Descartes. Il faut toutefois nuancer car Rabuel fait également place, certes marginalement, à des considérations tirées du calcul infinitésimal (cf. section 6.2). Cette volonté d'exégèse de *La Géométrie* se manifeste également dans les nombreuses références aux lettres éditées par Clerselier dans lesquelles Descartes, par ses réponses et ses remarques, complète et donne à comprendre l'essai de 1637.

3.5. Les figures de Rabuel

Les figures des *Commentaires* sont imprimées à part du texte au sein de 23 planches et sont nombreuses (282 en tout). On sait qu'elles ont été gravées par Etienne-Joseph Daudet (1672-1730), dessinateur et graveur en taille douce lyonnais. Dans les autres manuels mathématiques jésuites que j'ai cités, les figures peuvent être placées au sein du texte (Milliet de Chales, *Cursus seu Mundus mathematicus* ; Pardies, *Œuvres*), ou imprimées à part dans des planches (Duclos, *Eléments de mathématiques*).

Certaines des figures reproduisent les figures originales de *La Géométrie* : parmi celles-ci, la figure 69 qui est l'une des figures de référence pour la solution du problème de Pappus est doublement fautive. D'une part, elle n'est pas semblable à la figure originale⁷². D'autre part, le cercle solution ne coupe pas les quatre droites du problème aux quatre points d'intersection qui sont des solutions évidentes du problème⁷³. La figure 96 en revanche, qui correspond à la même configuration, est correcte. D'autre part, la figure 97 reproduit sans la corriger la figure fautive de la solution du problème de Pappus donnée par Descartes dans *La Géométrie* pour l'hyperbole⁷⁴. Voir ci-dessous les FIGURES 2, 3 ET 4.

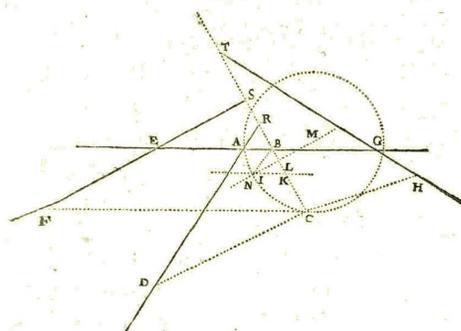


Fig. 2 : La figure du problème de Pappus dans *La Géométrie*, p. 325 : le cercle solution.

⁷¹ On passe en effet de 117 à 590 pages.

⁷² Cela a été noté par Lespinasse (?) qui ajoute en marge : « Dans cette figure, BK est trop grande, elle ne doit être que le tiers de AE » : Rabuel, *Commentaires*, p. 254.

⁷³ Rappelons l'énoncé du problème de Pappus. Il s'agit de trouver le lieu des points dont les produits des longueurs des segments projetés selon des angles donnés sur des droites données sont égaux i.e. $CB \cdot CF = CD \cdot CH$ (voir fig. 2). Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 309-314. Quatre des six points d'intersection des droites sont des solutions évidentes du problème car deux des longueurs sont alors nulles. On sait que la solution du problème de Pappus est formée par deux coniques mais cela semble avoir échappé à Descartes. Pour une étude détaillée de la solution cartésienne, cf. Bos, *Redefining geometrical exactness*, p. 313-334 et Maronne, *La théorie des courbes et des équations*, p. 32-139.

⁷⁴ Même type d'argument que précédemment : l'hyperbole solution coupe la droite au point H alors qu'elle ne peut le faire (dans cette position) qu'au point G, point d'intersection avec la droite AE, sauf à ajouter une constante. Cf. Figure 3.

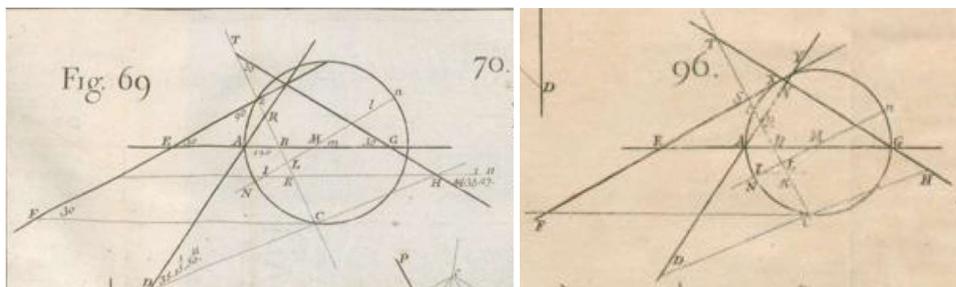


Fig. 3 : Les figures du problème de Pappus dans les *Commentaires* de Rabuel : le cercle solution

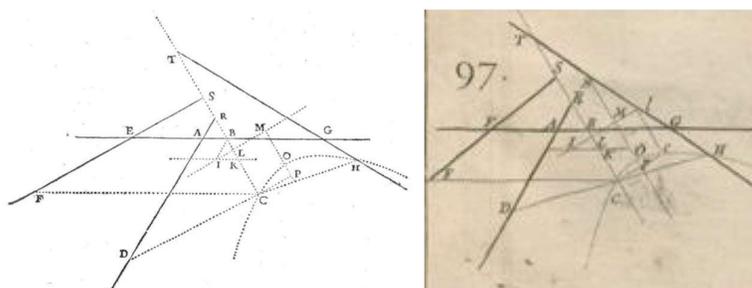


Fig. 4 : Les figures du problème de Pappus dans *La Géométrie*, p. 331 et les *Commentaires* de Rabuel : l'hyperbole solution

4. Rabuel et les géomètres anciens

On trouve de nombreuses références dans les *Commentaires* de Rabuel aux textes des géomètres grecs. Cela accrédite l'idée, déjà évoquée, d'un ancrage dans la tradition de résolution des problèmes géométriques.

Rabuel indique tout d'abord les références précises des propositions d'Apollonius que Descartes donne en passant dans *La Géométrie*⁷⁵. Il cite également les *Collectiones Mathematicae* de Pappus éditées par Commandinus⁷⁶ et insère à plusieurs reprises dans son commentaire des passages *in extenso* en donnant la traduction française dans le corps du texte et l'original latin en marge. Ainsi, lorsque Descartes fait référence aux « Anciens » au sujet de la classification des problèmes géométriques⁷⁷, Rabuel en précise aussitôt la source chez Pappus⁷⁸. À nouveau, lorsque Descartes parle de la *faute* en géométrie consistant à construire un problème avec un courbe d'un genre plus élevé que nécessaire⁷⁹, Rabuel ne manque pas de préciser que « c'étoit le sentiment de Pappus » avant de procurer le texte⁸⁰. Ces références reflètent une culture de la géométrie des Anciens chez Rabuel.

Surtout, Rabuel se réfère fréquemment dans ses commentaires aux propositions des *Eléments* d'Euclide⁸¹, très vraisemblablement dans l'édition de Clavius, comme en témoignent les deux mentions 'Clavius' en marge (Rabuel, *Commentaires*, p. 400) qui indiquent des références au commentaire du mathématicien jésuite⁸², dans un problème demandant de déterminer l'équation et les points d'une certaine courbe décrite sur un solide parabolicoïde. Dans son *Aperçu historique*,

⁷⁵ Cf. Rabuel, *Commentaires*, p. 168, 185 et 209 et *supra* n. 45.

⁷⁶ Cf. Rabuel, *Commentaires*, p. 24 où Rabuel utilise la proposition 107 du Livre VII (Pappus, *Collectiones Mathematicae*, p. 225r-226r) dans la résolution d'un problème.

⁷⁷ Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 315 et AT VI, 388.

⁷⁸ Cf. Rabuel, *Commentaires*, p. 91-92 et Pappus, *Collectiones Mathematicae*, Livre III et IV, resp. 4v et 61r. Cf. également Rabuel, *Commentaires*, p. 96 à propos du problème de l'insertion des moyennes proportionnelles.

⁷⁹ Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 371 et AT VI, 444.

⁸⁰ Cf. Rabuel, *Commentaires*, p. 418 et Pappus, *Collectiones Mathematicae*, Livre IV, p. 61r.

⁸¹ La majorité des références à Euclide se trouvent dans les commentaires portant sur le premier livre de *La Géométrie*. On en trouve alors souvent plusieurs à chaque page. Cf. Rabuel, *Commentaires*, p. 4-6 ; 10-12 ; 23-29 et *passim*.

⁸² Rabuel fait référence à la converse de la proposition 14 du Livre XI démontrée par Clavius dans un scholie ainsi qu'au commentaire à la définition 4 du même livre : cf. Euclide, *Elementorum Libri XV*, II, resp. p. 563-564 et 525.

Chasles, alors qu'il critique Rabuel à propos de sa fausse démonstration de la construction de la normale à une courbe gauche donnée par Descartes⁸³, ajoute avec acrimonie :

Il est vrai qu'il omet, dans cette prétendue démonstration de citer les éléments d'Euclide, comme il a coutume de faire à peu près une fois par chaque ligne (Chasles, *Aperçu historique*, p. 140).

5. Rabuel et le corpus cartésien

Les références de Rabuel dans ses *Commentaires* renvoient d'autre part au corpus cartésien, à savoir les différentes éditions de *La Géométrie* et les *Lettres* de Clerselier.

5.1. Les éditions de *La Géométrie*

Rabuel cite trois éditions de *La Géométrie* : l'édition originale de 1637, la seconde édition latine de Schooten, et l'édition in-12 parue chez Claude David en 1705⁸⁴. Il corrige le texte des éditions françaises à trois reprises en suivant l'édition latine de Schooten de 1661. Il complète ainsi l'équation $z^3 = az^3 - c^3z + d^4$ ajoutant le terme b^2z^2 mais une faute d'impression malheureuse s'ajoute à son intervention⁸⁵. Celle-ci est signalée dans les *Errata* qui occupent deux pages à la fin des *Commentaires* et sont sans doute l'œuvre de Lespinasse⁸⁶. La deuxième correction concerne une faute dans l'expression de la corde du cercle ($3q/p$ et non $3p/q$) intervenant dans la construction de l'équation $z^3 = pz - q$: à nouveau, Rabuel corrige l'édition française de 1637 en suivant l'édition latine de Schooten, mais sans la citer⁸⁷. La troisième correction concerne non pas une lacune mais l'ajout fautif de 'ou -' dans la construction du problème de Pappus⁸⁸. Rabuel rétablit enfin un terme manquant dans une équation qui n'avait été corrigé dans aucune des éditions qu'il cite⁸⁹.

À travers ces exemples, on constate que l'impression de textes mathématiques, qui plus est algébriques, ne va pas sans difficultés dans la première moitié du dix-huitième siècle, alors que *La Géométrie* est parue il y a près de cent ans, et qu'elle engendre encore des erreurs dans le texte. On observe enfin que les préoccupations de Rabuel ne sont pas seulement celles d'un commentateur mais aussi celles d'un éditeur scrupuleux qui cite les éditions précédentes de *La Géométrie*, et modifie le cas échéant le texte, en prenant la seconde édition latine de Schooten comme édition de référence, mais toujours avec une visée didactique.

5.2. Les Lettres de M. Descartes

Au regard de la numérotation des lettres, l'édition des lettres de Clerselier utilisée par Rabuel est

⁸³ Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 368-369 et Rabuel, *Commentaires*, p. 409-411.

⁸⁴ Cf. Descartes, *Géométrie* 1705. Dans cette édition in-12, les figures sur bois sont nouvelles et intégrées dans le texte mais de qualité assez médiocre. Claude David est un éditeur grand public : il ajoute le catalogue de ses livres à la suite de la table des matières. *La Géométrie* y précède la *Princesse de Clèves*. Sur les éditions du corpus cartésien, cf. Van Damme, *Descartes*, p. 29-37. Les *Mémoires de Trévoux* signalent ainsi la publication de cette nouvelle édition : « Christophle [sic] David pour éviter le juste reproche d'avoir réimprimé tant de Romans & de Comedies, vient de donner une nouvelle Edition de la Geometrie de Descartes » (*Mémoires de Trévoux*, novembre 1705, p. 2007).

⁸⁵ Cf. Descartes, *Geometria* 1659-1661, I, p. 4 et *Géométrie*, p. 301. L'équation donnée par Rabuel est $z^4 = az^3 + b^2z^2 - c^3z + d^4$ (Rabuel, *Commentaires*, p. 19).

⁸⁶ Le jésuite y écrit :

Quelque soin qu'on ait pris pour rendre correcte cette Edition, on n'a pû éviter bien des fautes que le grand nombre des calculs & des caracteres algebriques occasionnent & introduisent comme necessairement. (Rabuel, *Commentaires*, *Errata*)

⁸⁷ Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 399, AT I, p. 94 et Rabuel, *Commentaires*, p. 546. Adam et Tannery corrigent l'équation dans leur édition sans le signaler : AT VI, p. 473.

⁸⁸ Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 328, l. 11 et AT I, 29, l. 1. Adam et Tannery jugent que ces mots ont été « écrits par inadvertance » (AT VI, p. 401).

⁸⁹ Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 378 et Descartes, *Geometria* 1659-1661, I, p. 74. Il s'agit du terme qui est clairement manquant dans le développement algébrique obtenu en faisant le changement d'inconnue $y - 6n = x$ dans l'équation $x^6 + nx^5 - 6nx^4 + 36n^3x^2 - 216n^4x^2 + 1296n^5x - 7776n^6 = 0$. À nouveau, Adam et Tannery corrigent l'équation dans leur édition sans le signaler (AT VI, p. 451).

la première édition en trois volumes et non la réimpression récente des trois tomes en six volumes in-12⁹⁰. Plus précisément, à une exception près⁹¹, Rabuel cite uniquement le troisième et dernier tome publié en 1667 intitulé *Lettres de M^r Descartes où il répond à plusieurs difficultez qui luy ont esté proposées sur la Dioptrique, la Geometrie, & sur plusieurs autres sujets*.

On trouvera dans la Table 2 la liste des lettres citées par Rabuel et leurs thèmes au sein des *Commentaires*. Rabuel peut citer plusieurs fois la même lettre et se contente d'indiquer le tome et le numéro de la lettre dans l'édition de Clerselier⁹². J'ajoute la pagination dans les *Lettres* et AT, ainsi que les thèmes abordés. J'ai choisi en outre de donner les lettres dans l'ordre de Clerselier.

Lettres	Cle. III	AT	Rabuel	Thèmes
58, Escrit de quelques amis de Mr de Fermat [avril 1638]	321	II, 113-114	315, 574	Une omission et une faute dans <i>La Géométrie</i> selon Roberval.
59, à Mersenne [3 juin 1638 ?]	323-324	II, 156-157	574, 586	Réponse de Descartes : la construction de l'équation de degré 6 avec la parabole cartésienne.
60[?] à Mersenne 3 mai 1638	329	II, 129	319, 324	La méthode des normales s'applique aux problèmes de points d'inflexion et de <i>maximis et minimis</i> ; les tangentes considérées comme lignes extrémales.
69, à Mersenne 31 mars 1638	395	II, 83	149, 247	Une partie de l'analyse manque dans la solution du problème de Pappus ; les lieux de surface évoqués dans <i>la Géométrie</i>
71, à Debeaune 20 février 1639	409-410	II, 510-512	84, 151, 153, 212	Un cas omis dans Pappus ; deux défauts dans l'équation du lieu de Pappus ; regret de n'avoir pas donné la composition des lieux solides ; les deux constructions de l'hyperbole se peuvent expliquer par une seule.

⁹⁰ La numérotation n'est pas continue mais au contraire réinitialisée d'un volume à l'autre d'un même tome dans Descartes, *Lettres* 1724-1725.

⁹¹ Il s'agit de la lettre de Descartes à Mersenne du [5 avril 1632]. Descartes y indique avoir employé cinq ou six semaines à trouver la solution du problème de Pappus. Cf. Descartes, *Lettres* II, p. 340, AT I, p. 244 et Rabuel, *Commentaires*, p. 64. Rabuel considère que c'est plutôt une marque du génie de Descartes de n'avoir « travaillé que cinq ou six semaines », alors que le problème n'avait été résolu par aucun des géomètres anciens ou modernes. Cette affirmation, pour ce qui concerne les géomètres *modernes*, n'est pas exacte : Roberval, Pascal et plus tard Newton ont aussi donné leurs propres solutions du problème de Pappus à quatre lignes. Cf. Maronne, *La théorie des courbes et des équations*, p. 91-92 et 124-126. Rabuel s'appuie ici sur la lettre de Descartes à Mersenne de [fin décembre 1637] : cf. Descartes, *Lettres* II, 427-428, AT I, 478-479 et Rabuel, *Commentaires*, p. 64.

⁹² J'ai proposé des corrections pour ce qui apparaît comme des erreurs manifestes dans les références. Je laisse de côté les lettres de l'introduction et la lettre du tome II dont j'ai déjà parlé.

73, à Mersenne [Fin décembre 1637 ?]	427-428	I, 478-479	64	Aucun géomètre ancien ou moderne n'a trouvé la question de Pappus.
76, Carcavi à Descartes 9 juillet 1649	442	V, 373	151, 574	Le point C n'est pas par tous les quatre angles dans le problème de Pappus ; le cercle ne peut couper la parabole cartésienne qu'en quatre points dans la construction des équations de degré 6 [objections de Roberval]
77, à Carcavi 17 août 1649	445-447	V, 395-397	151, 428, 574	Réponses de Descartes : le point C est par tous les quatre angles ; sur la règle des signes ; le cercle coupe la parabole cartésienne en six points dans la construction des équations de degré 6.
78, Carcavi à Descartes 24 septembre 1649	454	V, 416-417	421-422	Racines fausses, positives et impossibles.
80, à Elisabeth [17 novembre 1643] ⁹³	461	IV, 38	22	On ne doit utiliser dans la résolution des problèmes géométriques que le théorème des triangles semblables et le théorème de Pythagore.
81 ?, à Elisabeth [29 novembre 1643]	466	IV, 47	41	Il faut retenir les lettres sans faire de substitutions dans l'analyse algébrique d'un problème lorsqu'on veut faire un théorème qui serve de règle générale.
82, à Schooten [mars-avril 1648] ⁹⁴	470	II, 576	206, 212, 440	Les quatre intersections des droites du problème de Pappus sont solutions ; explication de la figure fautive pour l'hyperbole ; comment augmenter les racines d'une

⁹³ La datation indiquée ici pour cette lettre et la suivante est celle de l'édition Verbeek et Bos : cf. Descartes, *Correspondence* 1643, resp. p. 155-158 et p. 163-166. Verbeek et Bos considèrent des manuscrits inédits et propose des datations plus précises pour les lettres mathématiques de Descartes à Elisabeth.

⁹⁴ Je défends cette datation dans Maronne, « Sur une lettre de Descartes à Schooten qu'on dit de 1639 ».

				équation.
--	--	--	--	-----------

Table 2 : Les références à l'édition de Clerselier par Rabuel

On voit ressortir trois grands thèmes dans les références de Rabuel aux *Lettres* : la résolution des problèmes géométriques, la solution du problème de Pappus et la construction des équations du sixième degré au moyen du cercle et de la parabole cartésienne proposée dans le Livre III de *La Géométrie*. Le premier thème apparaît dans la correspondance mathématique avec la Princesse Elisabeth. Les deux derniers thèmes ont fait l'objet d'une controverse avec Roberval dont témoigne en particulier l'échange de lettres avec Carcavi.

En revanche, bien que les lettres de la controverse sur les tangentes⁹⁵ aient elles aussi été éditées par Clerselier, celles-ci ne sont pas citées et exploitées par Rabuel, mais c'est sans doute parce qu'elles portent davantage sur la méthode de Fermat et les critiques de Descartes, que sur la méthode des normale de *La Géométrie*. Peut-être en écho à cette dispute, Rabuel montre dans un article des *Commentaires* qu'on peut appliquer la méthode de Descartes pour déterminer des points d'inflexion des courbes et résoudre des questions de *maximis et minimis* (Rabuel, *Commentaires*, p. 319-332).

À chaque fois, Rabuel explique et développe les citations qu'il donne au moyen d'exemples ou de problèmes qu'il ajoute. En conséquence, ces développements apparaissent plutôt motivés par le souci de donner une édition *autorisée* de *La Géométrie*, en se référant lorsque cela est possible aux réponses et aux remarques de leur auteur.

La solution cartésienne du problème de Pappus

Les deux lettres à Debeaune et à Schooten (voir Table 2), qui sont détaillées sur le plan mathématique, sont mises à profit par Rabuel pour commenter la solution cartésienne du problème de Pappus. Rabuel rapporte ainsi de façon intéressante les remarques faites par Descartes dans sa lettre à Debeaune sur un défaut de généralité de l'équation « modèle de toutes les autres » du lieu de Pappus⁹⁶ à la méthode employée par le Marquis de L'Hospital (1661-1704) dans le Livre VII intitulé « Des lieux Geometriques » de son *Traité analytique des sections coniques* (1707) posthume⁹⁷. L'Hospital décrit ainsi sa méthode de construction des équations du second degré qui repose sur la méthode des coefficients indéterminés :

[La méthode dont on se sert pour faire ces formules générales] consiste à construire d'abord une Parabole en sorte que l'équation qui en exprime la nature soit la plus composée qu'il se puisse, de faire ensuite la même chose dans l'Ellipse, & dans l'Hyperbole rapportée à ses diamètres & considérée entre les asymptotes *ce qui fournit des équations ou formules générales*. {J'examine ce qu'elles ont chacune de particulier, afin qu'une équation étant proposée, je puisse connoître à laquelle de ces formules elle doit être rapportée & comparant ensuite tous ses termes avec ceux de la formule, j'en tire la construction du lieu de cette équation, en observant certaines remarques qui servent pour toutes les formules.} (L'Hospital, *Traité analytique des sections coniques*, p. 213)⁹⁸

La méthode de L'Hospital diffère de la méthode de *réduction* de Guisnée (?-1718) exposée dans son *Application de l'algèbre à la géométrie* (1705), comme l'indique la recension qui en est faite dans les *Histoires de l'Académie Royale des Sciences* de la même année⁹⁹ :

⁹⁵ Pour un exposé détaillé de cette controverse, cf. Maronne, *La théorie des courbes et des équations*, p. 291-331.

⁹⁶ Descartes note que l'équation du lieu de Pappus ne contient pas de terme constant : cf. Descartes, *Lettres* II, 409-410 et AT II, 511. Ce n'est pas un défaut pour la solution du problème de Pappus, mais cela l'est pour la composition des lieux solides.

⁹⁷ Cf. Rabuel, *Commentaires*, p. 152-153 et L'Hospital, *Traité analytique des sections coniques*, p. 206-248. Le traité de L'Hospital a connu une réimpression en 1720. On ne peut savoir quelle édition a été utilisée par Rabuel.

⁹⁸ La partie placée entre accolades n'est pas citée par Rabuel. Il exhibe en revanche les équations générales données par l'Hospital pour les différentes coniques : ligne droite, parabole, cercle ou ellipse, hyperbole par rapport à ses diamètres, hyperbole entre ses asymptotes. Voir aussi la recension donnée dans HARS 1707, p. 72-73.

⁹⁹ Cf. Guisnée, *Application de l'algèbre à la géométrie* et HARS 1705, p. 98-116. Sur cette méthode, cf. Guisnée, *op. cit.*, Section VIII, p. 132-186). Sur Guisnée et son ouvrage, voir Peiffer, « *Nicolas Guisnée, application de l'algèbre à la géométrie* ». Comme l'indique

Pour la construction des Problèmes qui dépendent des Equations composées il y avoit deux partis à prendre, ou d'enseigner à construire les Problèmes sur ses Equations, telles qu'on les a trouvées, ou de donner le moyen de les ramener & de les réduire aux simples. M. Guisnée n'a pris que ce second parti, & il nous avertit que Monsieur le Marquis de l'Hôpital avoit pris le premier dans l'Ouvrage qu'il composoit quand il est mort. (HARS 1705, p. 108)

Cet ouvrage est cité par Rabuel lorsqu'il traite de la définition des courbes géométriques et des courbes mécaniques et de la construction des équations¹⁰⁰.

Douze et une règles de résolution des problèmes

Dans les « 12 Regles generales pour les Problèmes » illustrées par autant de problèmes¹⁰¹, Rabuel cherche à systématiser l'explication donnée dans *La Géométrie* de « Comment il faut venir aux Equations qui servent a resoudre les problemes »¹⁰² en s'appuyant également sur les deux lettres mathématiques de Descartes à Elisabeth citées auparavant.

Je parle de douze et une règles car on remarque qu'une treizième règle, désignée à tort à nouveau comme Règle XII, clôt l'ensemble. Il n'est pas anodin que cette règle concerne le calcul des infiniment petits. Son thème, étranger à *La Géométrie*, et sa numérotation erronée suggèrent qu'elle aurait été ajoutée à la toute fin de la rédaction (voire au moment de l'impression ?¹⁰³). Nous reviendrons sur cette règle dans la section 6.2.

Voici comment Rabuel présente ces douze règles en insistant à nouveau sur la vertu des exemples:

Je distinguerai par ordre les Regles qui regardent la resolution des Problèmes en general. Je joindrai à celles, dont M. DESCARTES parle ici [dans *La Géométrie*] quelques autres, qu'il explique ailleurs. Les regles, ausquelles je ne joins aucun exemple, seront mises en usage dans les exemples des autres regles. Il est bon de faire reflexion, que les preceptes sont ordinairement obscurs, jusques à ce que les exemples les ayent éclaircis. (Rabuel, *Commentaires*, p. 19-20).

Il faudrait donner une analyse détaillée du texte des règles et des exemples, en les comparant aux textes du corpus cartésien mais aussi, par exemple, aux observations de Guisnée sur l'application de l'algèbre à la géométrie, mais je ne peux le faire dans les limites de cet article qui vise à fournir plutôt une description globale des *Commentaires* et des pistes de recherche. Une telle analyse montrerait la réception contrastée du programme cartésien chez les mathématiciens du dix-huitième siècle et, parfois, leur incompréhension des problèmes ou des thèmes de la tradition géométrique classique dans laquelle s'insère *La Géométrie*¹⁰⁴. Je me contenterai ici d'une description relativement succincte des règles.

Les règles I à VII reprennent les explications données par Descartes sur sa méthode de résolution des problèmes géométriques par analyse algébrique dans le paragraphe du Livre I de *La Géométrie* cité auparavant¹⁰⁵, mais les règles VIII à XII s'appuient sur d'autres passages de *La*

Jeanne Peiffer, l'approbation de l'ouvrage dès le 15 juillet 1704 ainsi que le long compte rendu rédigé par Fontenelle montre l'accueil très favorable des académiciens.

¹⁰⁰ Cf. *infra* sections 6.1 et 6.3.

¹⁰¹ Cf. Rabuel, *Commentaires*, p. 20-47. On peut remarquer qu'on trouve semblablement dans Guisnée, *Application de l'algèbre à la géométrie*, p. 22-29 un ensemble de vingt-deux « Observations pour l'Application de l'Algebre à la Geometrie », c'est-à-dire pour la résolution des problèmes géométriques.

¹⁰² Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 300-301 et AT VI, p. 372.

¹⁰³ Elle commence au bas de la page 45 et s'arrête fort opportunément au bas de la page suivante.

¹⁰⁴ Un exemple parmi d'autres nous est donné par les remarques de Rabuel dans la première règle. Il rapporte en effet l'analyse algébrique de Descartes à l'analyse pappusienne, puis ajoute que « c'est par le connu qu'on découvre l'inconnu, l'Esprit humain ne raisonne pas autrement, & il n'a pas d'autres maniere de faire de nouvelles découvertes » (Rabuel, *Commentaires*, p. 20), opérant ainsi une confusion entre analyse géométrique, analyse algébrique et synthèse.

¹⁰⁵ « Comment il faut venir aux Equations qui servent a resoudre les problemes » : Descartes, *Géométrie* p. 300-301 et AT VI, 372. La règle V qui porte sur la construction point par point des « Problèmes indeterminez » en fixant une inconnue peut aussi renvoyer à la solution du problème de Pappus : cf. Descartes, *Géométrie*, p. 313-314 et AT VI, 385-386.

Géométrie et sur deux lettres mathématiques à Elisabeth. Elles résultent ainsi d'un apport original de Rabuel qui montre sa connaissance approfondie du corpus cartésien.

La règle VIII pose ainsi le problème du choix des droites (et le cas échéant de l'introduction de droites auxiliaires) dans l'analyse algébrique d'un problème géométrique et s'appuie sur deux exemples. Descartes dans sa lettre à Elisabeth du [17 novembre 1643], affirme se servir de droites parallèles ou perpendiculaires « le plus qu'il est possible », et ne considérer en conséquence que deux théorèmes fondamentaux, le théorème de Pythagore et le théorème des triangles semblables, rejetant les autres théorèmes¹⁰⁶ car « on ne voit point si bien ce qu'on fait ». Le deuxième exemple n'est rien moins que le choix de deux segments comme abscisse et ordonnée dans la solution du problème de Pappus. Rabuel paraphrase la célèbre formule de Descartes qui scelle l'invention du repère dit cartésien :

M. DESCARTES pour se démêler de la confusion, que peuvent causer plusieurs lignes, en considère deux comme les principales, & auxquelles il tâche de rapporter toutes les autres. (Rabuel, *Commentaires*, p. 22)¹⁰⁷

La règle IX porte sur les problèmes qui « [renferment] plusieurs cas, [et] ne [sont] entièrement resolu[s], qu'après qu'on les a tous parcourus » et s'appuie sur le traitement des ovales dans *La Géométrie*¹⁰⁸. Cette règle pourrait aussi faire écho à la quatrième règle du *Discours de la méthode* (AT VI, 19). La règle X concerne les changements d'axe qui permettent, une fois qu'on est parvenu à l'équation algébrique du lieu, de construire la courbe solution, et prend pour modèle la construction des coniques à partir de l'équation du lieu de Pappus¹⁰⁹. La règle XI, moins intéressante, concerne les problèmes impossibles.

C'est la règle XII qui va retenir notre attention car elle revient à nouveau sur la notion de *formule générale* et montre une compréhension remarquable par Rabuel de l'usage de la méthode des coefficients indéterminés comme moyen d'appliquer à une formule générale, modèle d'un problème géométrique ou même d'une courbe géométrique, une instance particulière de ce problème ou un « exemplaire » de cette courbe. Il vaut la peine de la citer *in extenso* :

Lorsqu'on veut qu'une equation serve d'exemple¹¹⁰, on l'appelle Formule. Il y a des formules, qui mettent d'abord sous les yeux toutes les combinaisons que peuvent avoir les termes & les signes d'une sorte d'équations ; il y en a qui renferment tous les cas qui peuvent arriver dans la resolution & dans la construction d'un Problème. Il y en a qui expriment tous les differens degrez des courbes, à qui on a donné le même nom. (Rabuel, *Commentaires*, p. 40)

Rabuel donne ensuite comme la formule générale pour l'équation du troisième degré $x^3 \pm axx \pm abx \pm abc = 0$ ¹¹¹. Les deux autres exemples donnés par Rabuel concernent la « fameuse méthode des tangentes de Descartes » ainsi que la résolution du problème de Pappus¹¹² et se fondent sur l'usage de la méthode des coefficients indéterminés. Enfin, Rabuel cite la lettre de Descartes à Elisabeth du [29 novembre 1643] dans laquelle ce dernier indique qu'il faut retenir les lettres sans faire de substitutions dans l'analyse algébrique d'un problème géométrique lorsqu'on veut faire un théorème qui serve de « règle générale »¹¹³.

¹⁰⁶ Cf. Rabuel, *Commentaires*, p. 22, Descartes, *Lettres* III, 461 et *supra* la table 2.

¹⁰⁷ Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 310 et AT VI, 382-383.

¹⁰⁸ Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 352-368 et AT VI, 424-440.

¹⁰⁹ Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 325-334 et AT VI, 397-406.

¹¹⁰ Quelques lignes plus loin, Rabuel parlera de « formule générale ». On retrouve constamment chez Rabuel cet usage mêlé et assez confus des termes « exemple », « général », « particulier » qui paraît témoigner de la difficulté à accorder la généralité de l'algèbre à la singularité d'un problème géométrique.

¹¹¹ On remarquera que Rabuel veille à conserver une équation homogène comme le fait le plus souvent Descartes dans *La Géométrie* bien que son algèbre des segments l'autorise, en théorie, à pouvoir s'en dispenser. Cf. Descartes, *Géométrie*, resp. p. 390 et 403 et AT VI, resp. 465 et 477. La lettre *a* joue ainsi le rôle d'une unité. Au-dessous de cette équation, Rabuel indique en passant une notation singulière qui incorpore un *o* sous le \pm (Rabuel, *Commentaires*, p. 40).

¹¹² Rabuel se réfère au texte de Descartes dans ses *Commentaires*, p. 308 et p. 146.

¹¹³ Rabuel dit « formule ». Cf. Rabuel, *Commentaires*, p. 22 et Descartes, *Lettres* III, 466 et *supra* la table 2.

On l'a vu, cette notion de « formule générale » et l'usage afférent de la méthode des coefficients indéterminés figurent chez L'Hospital. On les trouve aussi chez Reyneau (1656-1728) dans son *Analyse démontrée* (1708), qui n'est pas citée par Rabuel. Reyneau fait de surcroît explicitement le lien avec *La Géométrie* de Descartes :

En regardant de près les vestiges que M^r Descartes a laissés dans le second & dans le troisième Livre de sa Geometrie, on voit assés qu'il s'est servi de la methode [des indéterminées] [...] pour distinguer dans la résolution du Problème de *Pappus* qu'il donne dans le second Livre, à quelles Sections coniques se reduisoient les équations qui se sont presentées à lui dans cette résolution ; & pour trouver le diametre & les autres lignes necessaires pour décrire ces Sections coniques. Il s'en est encore servi, dans la resolution des équations qu'il donne dans le troisième Livre, pour décrire les Sections coniques qui jointes ensemble se coupent en des points dont les ordonnées ou bien les coupées font resolution des équations. Cependant les Commentateurs de M^r Descartes n'ont point expliqué cette methode qui auroit éclairci sa Geometrie, & l'auroit rendue plus facile. M^r *Craige* en Angleterre, & M^r le Marquis de l'*Hospital* en France, sont les premiers qui l'ont donnée au Public. (Reyneau, *Analyse démontrée*, II, Préface, ix-x)

Un des éléments essentiels de la méthode cartésienne de résolution des problèmes géométriques, à savoir la méthode des coefficients indéterminés et l'idée de formule générale, a donc bien été identifié par les mathématiciens du dix-huitième siècle comme en témoignent les textes de L'Hospital, Reyneau et Rabuel.

6. Rabuel et les géomètres modernes

6.1. Courbes géométriques et courbes mécaniques

Dans le commencement du Livre II de *La Géométrie*, Descartes consacre un long et célèbre développement à définir et à distinguer les courbes qu'ils appellent 'géométriques' et 'mécaniques'¹¹⁴. Les courbes *géométriques* sont d'abord décrites comme pouvant être engendrées par un ou plusieurs mouvements continus subordonnés les uns aux autres, si bien « qu'on peut toujours avoir une connaissance exacte de [la] mesure [du rapport entre ces mouvements] », mais pour Descartes le critère le plus important est qu'elles peuvent être exprimées par une équation algébrique à deux inconnues x et y , ce qui permet ensuite de les classer en genres et de construire ces courbes point par point. Pour construire un point de la courbe, il suffit en effet de fixer l'une des deux inconnues et de construire l'équation à une inconnue ainsi obtenue au moyen des courbes les plus *simples* qu'il est possible. Les courbes *mécaniques* sont quant à elles définies *négativement* à partir de ces critères. Par exemple :

la Spirale, la Quadratrice & semblables, qui n'appartiennent véritablement qu'aux Mécaniques & ne sont point du nombre de celles que ie pense devoir icy estre receues, a cause qu'on les imagine descrites par deux mouvemens séparés & qui n'ont entre eux aucun raport qu'on puisse mesurer exactement¹¹⁵. (Descartes, *Géométrie*, p. 317 et AT VI, 390)

Dans ses commentaires à la suite du texte de Descartes, Rabuel consacre une section entière aux courbes intitulée *Des lignes Geometriques & Mechaniques* (Rabuel, *Commentaires*, p. 93-106), et après avoir rappelé les critères que nous avons donnés auparavant, il cite à propos de la définition des courbes géométriques et mécaniques la préface de l'*Apollonius Gallus* de Viète¹¹⁶ et les *Histoires*

¹¹⁴ Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 315-319 et AT VI, 388-393. Parmi les nombreuses études sur les courbes chez Descartes, voir Bos, *Redefining geometrical exactness*, p. 335-354 et Serfati, « Constructivismes et obscurités dans la *Géométrie* de Descartes » qui discute le commentaire de Rabuel (*ibid.*, p. 35).

¹¹⁵ Pour la quadratrice, ce rapport est lié au nombre π .

¹¹⁶ Cf. Rabuel, *Commentaires*, p. 97 et Viète, *Opera Mathematica*, p. 325 (il est vraisemblable que Rabuel cite les *Opera* publiées en 1646 par Schooten plutôt que la publication originale de 1600). Ce traité de Viète est consacré à la résolution complète du problème d'Apollonius qui demande de trouver un cercle tangent à trois cercles donnés. Dans la préface, Viète critique les constructions qu'il qualifie de *mécaniques* des problèmes géométriques employant la conchoïde, la spirale ou la quadratrice, mais

de l'Académie Royale des Sciences de 1705 et 1704 (Rabuel, *Commentaires*, p. 98-99). Les textes auxquels il fait référence sont, plus précisément, la recension de l'ouvrage de Guisnée¹¹⁷ et l'article « Sur les vitesses des corps mus suivant des courbes » consacré à un mémoire de Pierre Varignon (1654-1722) paru en 1704¹¹⁸. Voici les deux textes *in extenso*¹¹⁹ :

Depuis [Descartes], on a fixé plus précisément par la *Geometrie des infinimens petits* l'idée des courbes geometriques & mechaniques {telle que nous l'avons rapportée dans l'histoire de 1704 [en marge, p. 115].} (HARS 1705, p. 109)

De plus, il faut savoir qu'il y a deux especes de courbes, les *Géométriques*, & les *Mécaniques*. Les courbes géométriques sont celles dont on peut exprimer & déterminer la nature par le rapport des Ordonnées aux Abscisses, qui sont les unes & les autres des grandeurs finies ; les Mécaniques sont celles dont on ne peut exprimer ainsi la nature, parce que les Ordonnées & les Abscisses n'ont point de rapport réglé. {Les Sections Coniques sont géométriques, la Cycloïde, la Cissoïde, la Conchoïde, &c sont mécaniques.}¹²⁰ Dans la Géométrie des Infiniment petits, la nature de toutes les Courbes, soit géométriques, soit mécaniques, peut également s'exprimer par le rapport des portions de l'axe infiniment petites aux différences correspondantes, ou premières, ou secondes, ou troisièmes, &c à l'infini. Toute la différence entre les courbes géométriques & mechaniques, est que les mécaniques ne peuvent s'exprimer que par ce rapport ; au lieu que les géométriques peuvent aussi s'exprimer par le rapport des Ordonnées aux Abscisses ; {c'est-à-dire, que les mécaniques conduisent plus nécessairement à la consideration de l'infini. De là il suit, & que la Géométrie des Infiniment petits a une égale facilité dans les recherches qu'elle fait sur ces deux espèces opposées de Courbes, & que tout autre méthode doit en avoir beaucoup moins, surtout à l'égard des mécaniques. *Il est visible que la Théorie de M. Varignon fondée sur les Infiniment petits, tant pour les vitesses que pour la génération des Courbes, s'étend si naturellement tant aux Courbes géométriques qu'aux mécaniques, que l'on ne s'apperçoit pas en la suivant, qu'il y ait aucune différence de nature entre ces Courbes.* Cependant il y a tout lieu de croire que l'on s'en apercevrait bien par d'autres voies.} (HARS 1704, p. 115-116)

On assiste ici à un véritable changement de perspective dont témoignent les citations de Rabuel. Dans la géométrie des infiniment petits, les courbes mécaniques ne sont plus définies *négativement* comme les courbes ne vérifiant pas l'un des critères de géométricités (description par mouvement(s) continu(s) subordonné(s), expression par une équation algébrique, construction de tous les points), mais *positivement* en tant qu'elles sont exprimées par une équation différentielle. La stricte démarcation posée par Descartes dans *La Géométrie* entre courbes géométriques et courbes mécaniques est ici estompée voire finalement abandonnée, dès lors qu'on use du calcul infinitésimal¹²¹. Le terme 'mécanique' ne renvoie désormais plus à la définition de Descartes mais à notre définition moderne : en effet, ce sont bien des problèmes de *mécanique* qui sont considérés ici par Varignon. Cela montre bien, comme je l'ai rappelé auparavant en citant Bos, que les préceptes *méthodologiques* de Descartes n'ont eu finalement que peu d'influence¹²² sur les mathématiciens qui ont développé leurs recherches en s'appuyant sur les techniques utilisées dans *La Géométrie*, comme la méthode des coefficients indéterminés.

6.2. La question de l'infini

À la suite du texte de Descartes sur le problème des normales, Rabuel se rapporte à la proposition 2 du livre XII des *Éléments* d'Euclide sur la mesure du cercle dans laquelle est

aussi les coniques.

¹¹⁷ Sur Guisnée, cf. *supra* section 5.2.

¹¹⁸ Cf. resp. HARS 1705, p. 98-116 et HARS 1704, p. 104-115.

¹¹⁹ Dans les deux citations qui suivent, je place entre accolades les parties que ne citent pas Rabuel.

¹²⁰ Il est bien sûr faux que la cissoïde et la conchoïde soient des courbes mécaniques. Rabuel ne cite pas cette phrase et va précisément montrer dans l'article III qui suit « De quelques lignes Geometriques & Mécaniques » que la cissoïde et la conchoïde sont bien des courbes géométriques (Rabuel, *Commentaires*, p. 100-105).

¹²¹ Quelques années plus tard, Euler dans le second livre de son *Introductio in Analysin Infinitorum* consacré à une théorie des courbes algébriques, mettra à nouveau à l'honneur et en usage cette démarcation. Cf. *ibid.*, Préface, xii.

¹²² Cf. *supra* section 3.4.

employée la méthode d'exhaustion, pour introduire la définition suivante des lignes courbes :

On peut considerer les lignes courbes comme des polygones, ou *des parties de polygones rectilignes composez d'une infinité de côtez infiniment petits*. Les anciens Geometres ne les ont-ils pas ainsi considerez, lorsqu'ils ont dit par Exemple¹²³, qu'on peut inscrire dans un cercle, ou décrire autour d'un cercle des Polygones de tant de côtez, que la difference du cercle à ces polygones fût moindre qu'une quantité donnée quelconque. » (Rabuel, *Commentaires*, p. 297).

Ici, Rabuel paraphrase, sans la citer, la demande II de l'*Analyse des infiniment petits* du marquis de l'Hospital :

On demande qu'une ligne courbe puisse être considérée comme l'assemblage d'une infinité de lignes droites, chacune infiniment petite : ou (ce qui est la même chose) comme un polygone d'un nombre infini de côtés, chacun infiniment petit [...] (L'Hospital, *Analyse des infiniment petits*, Demande II, p. 3)¹²⁴

L'exégèse de Rabuel apparaît ici doublement infidèle, et à Euclide, et à Descartes. Néanmoins, cette infidélité s'atténue, vis à vis de Descartes, si l'on considère les textes du *mathématicien*. Cette opposition à l'infini, qui a été souvent mise en avant par les historiens de la *philosophie cartésienne*¹²⁵, doit être en effet nuancée¹²⁶. D'abord au sein de *La Géométrie*, parce qu'elle y est présente en quelque sorte *en creux*. Il est vrai que Descartes n'y emploie pas de méthodes infinitésimales, mais il n'évoque à aucun moment cette question de l'infini, qui se manifeste de façon implicite dans la distinction qu'il pose entre courbes géométriques et courbes mécaniques, dont l'un des fondements est que « la proportion, qui est entre les droites & les courbes n'est pas connue, & mesme [croit Descartes] ne [peut] être connue par les hommes »¹²⁷. Mais aussi dans la Correspondance, car on y voit Descartes user de la méthode des indivisibles pour résoudre le problème de la quadrature de la cycloïde¹²⁸ et d'un raisonnement infinitésimal pour répondre au problème inverse des tangentes de Debeaune qui le conduit à la courbe logarithmique¹²⁹. C'est seulement dans cette dernière lettre que Descartes précise, après « [avoir considéré] chaque point de la courbe comme l'intersection de deux tangentes infiniment voisines [...] et construit toutes les tangentes de la courbe elle-même, par l'intersection de deux règles qui se [meuvent] avec des vitesses déterminée »¹³⁰ :

Mais ie croy que ces deux mouvemens sont tellement incommensurables, qu'ils ne peuvent estre reglez exactement l'un par l'autre ; et ainsi que cette ligne est du nombre de celles que j'ay rejeitées de ma Geometrie, comme n'estant que Mechanique (Descartes, *Lettres* III, 415 et AT II, 517)

La plupart des mathématiciens en ce début du dix-huitième siècle ne voient donc pas d'opposition franche entre la méthode exposée dans *La Géométrie* ou les lettres mathématiques et celle du calcul infinitésimal et, comme on l'a vu avec la distinction entre courbes géométriques et

¹²³ En marge, *Eucl. Elem. I.12, Prop. 2*.

¹²⁴ On retrouve cette conception infinitésimaliste employée dans le Livre V du *Traité analytique des sections coniques* pour traiter le problème des tangentes : cf. L'Hospital, *Traité analytique des sections coniques*, p. 123-129 (communication personnelle de S. Bella).

¹²⁵ Un exemple prototypique est donné par exemple par cette citation d'Yvon Belaval :

Descartes, pour être pleinement entendu, doit être rattaché à la tradition grecque de la démonstration mathématique, qui évitait la considération de l'infini comme échappant à l'évidence rationnelle (Belaval, *Leibniz critique de Descartes*, p. 302)

Cf. également Vuillemin, *Mathématiques et métaphysique chez Descartes*, p. 56-73 pour un point de vue plus nuancé et Costabel, « Descartes et la mathématique de l'infini » pour une analyse détaillée du corpus cartésien.

¹²⁶ Il faudrait aussi prendre en compte dans la réception conjointe de la philosophie et des mathématiques cartésiennes la figure importante de Malebranche. Cf. Schwartz, *Malebranche. Mathématiques et philosophie*.

¹²⁷ Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 340 et AT VI, 412.

¹²⁸ Cf. la lettre à Mersenne du 27 juillet 1638 : Descartes, *Lettres* III, 366-370 et AT II, 257-263. Sur la cycloïde, cf. Costabel, *op. cit.*, p. 46-48 et Jesseph, « Descartes, Pascal... : the case of the cycloid ».

¹²⁹ Cf. la lettre à Debeaune du 20 février 1639 : Descartes, *Lettres* III, 412-415 et AT II, 514-517. Cf. Vuillemin, *Mathématiques et métaphysique chez Descartes*, p. 11-25 pour une étude détaillée ainsi que Costabel, *op. cit.*, p. 44-45.

¹³⁰ Cf. Chasles, *Aperçu*, p. 97. Cité par Vuillemin, *op. cit.*, p. 25.

courbes mécaniques, atténuent voire ignorent les préceptes méthodologiques stricts énoncés par Descartes. Dans ce contexte, les trois apparitions de l'infini dans les *Commentaires* n'apparaissent donc pas si incongrues.

La « seconde » règle XII de la méthode pour la résolution des problèmes que nous avons évoquée auparavant¹³¹ énonce ainsi :

Non seulement on peut supposer que quelque quantité est égale à zero, ou nulle dans une équation, comme nous l'avons dit dans le Problème 12, mais encore *on peut supposer qu'une quantité y est infinie, les autres restant finies* (Rabuel, *Commentaires*, p. 45)

et renvoie aux développements de la règle IV de la « Methode pour décrire une Courbe en cherchant plusieurs de ses points » qui concernent le calcul de limites et les asymptotes : cf. Figure 5.

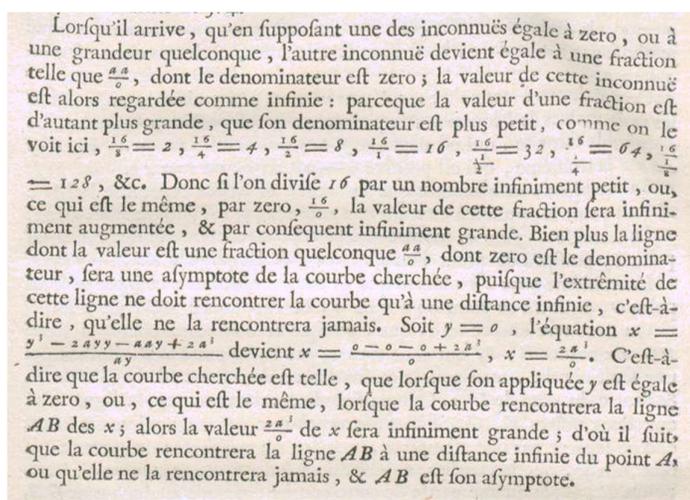


Fig. 5 : Rabuel et le calcul de l'infini, p. 131

On trouve en outre dans cette même règle XII un symbole étrange, qui ressemble au symbole de l'égalité de Descartes, que Rabuel aurait pu emprunter à l'édition latine de la *Géométrie* de Schooten¹³². Le sens à donner à ce symbole n'est pas complètement clair : si l'on s'appuie sur le symbole semblable qu'on trouve dans la *Geometria* de 1661 et le contexte, il semble que Rabuel veuille dire qu'on peut supposer x positif ou négatif.

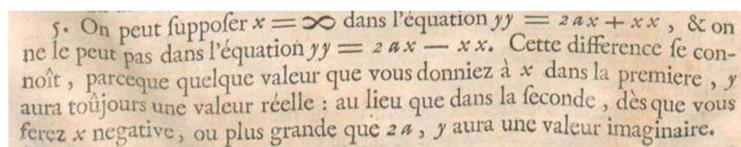


Fig. 6 : Un symbole étrange de Rabuel, p. 46

6.3. La simplicité des courbes et la construction des équations

Dans *La Géométrie*, le problème de la simplicité des courbes employées pour la construction des équations joue un rôle fondamental. Après avoir fait remarquer « qu'il [n'y a] aucune façon plus facile, pour trouver autant de moyennes proportionnelles qu'on veut », que celle qui consiste à employer les compas qu'il a introduits auparavant dans le livre II¹³³, Descartes ajoute néanmoins

¹³¹ Cf. *supra* section 5.2.

¹³² Ce symbole est utilisé par Schooten, Hudde et de Witt. Il est écrit verticalement (pour ne pas le confondre avec celui de l'égalité) et correspond à notre \pm . Cf. Descartes, *Geometria*, I, p. 295, 444-445 et II, 305 et Cajori, *A history of mathematical notations*, I, p. 245-246.

¹³³ Cf. Descartes, *Géométrie* p. 317-319 et AT VI, 391-392.

que « ce seroit une *faute* en Geometrie que de les y employer » car on peut les trouver « par des lignes qui ne sont pas de genres si composés »¹³⁴, c'est-à-dire des courbes géométriques dont les équations algébriques sont de degré moindre¹³⁵. En prenant l'exemple de ses compas, Descartes montre que la facilité de la construction géométrique et la simplicité de l'équation algébrique sont deux critères bien distincts et que le second doit l'emporter, sauf à commettre une « faute » en géométrie. Il construit ensuite les équations de degré 3 et 4 au moyen du cercle et de la parabole, les équations de degré 5 ou 6 au moyen du cercle et de la parabole cubique et clôt *La Géométrie* en suggérant qu'on pourrait, en suivant la même voie, construire les équations de degré $2n - 1$ et $2n$ au moyen d'un cercle et d'une courbe de degré n ¹³⁶.

Dans ses *Commentaires*, Rabuel, comme il l'avait fait pour la résolution des problèmes géométriques, présente une méthode « pour construire une Equation déterminée solide, [...] afin de faire voir comment M. DESCARTES a trouvé les Regles qu'il a données ». Cette méthode se décompose en six règles (Rabuel, *Commentaires*, p. 525-527). En effet, Descartes a donné la construction et la démonstration des équations de degré 3 et 4 mais pas l'*analyse* de cette construction. Schooten, avant Rabuel, avait proposé une analyse de la construction des équations qui repose sur la méthode des coefficients indéterminés¹³⁷. La méthode de Rabuel est différente et repose sur la méthode « d'insertion »¹³⁸ de Philippe de La Hire (1640-1718). Rabuel renvoie enfin aux *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* de Rolle, dont il ne cite pas le nom, publiés en 1708, 1709 et 1710, qui mettent en évidence « les difficultez de [cette] Methode » de construction des équations. En effet, il se peut qu'aucun point d'intersection *réel* des deux courbes ainsi construites ne corresponde à une racine réelle de l'équation de départ car, par exemple, les ordonnées de tels points sont imaginaires¹³⁹.

Au sujet de la « faute » dénoncée par Descartes dans la construction des problèmes géométriques, Rabuel fait remarquer que si « c'étoit le sentiment de Pappus », et si « c'est aussi ce qu'exigent ordinairement les Geometres modernes, [...] il s'en trouve pourtant, *qui y mettent quelque exception* », parmi lesquels Guisnée et L'Hospital, qu'il cite *in extenso* à la suite :

c'est en quelque façon gêner la Geometrie que d'y introduire, souvent avec beaucoup de difficulté, de certaines courbes préférablement à d'autres qui se présentent naturellement, & dont la description est souvent tres-simple : en quoi je voudrois que les courbes fussent préférées, sans avoir egard à leur genre, de la maniere qu'on le determine ordinairement. (Guisnée, *Application de l'algebre a la geometrie*, p. 26)

Il me paroît néanmoins que la facilité d'une construction & la simplicité peuvent récompenser en quelque sorte ce deffaut [d'employer une ligne courbe trop composée pour résoudre un Problème]¹⁴⁰ (L'Hospital, *Traité analytique des sections coniques*, p. 400)¹⁴¹

Non content de rapporter ces réserves, Rabuel se range au même avis :

¹³⁴ Cf. Descartes, *Géométrie* p. 370-372 et AT VI, 442-444.

¹³⁵ Les courbes sont classées en genre par Descartes selon le degré de leur équation : premier genre lorsque l'équation est de degré 1 ou 2 (les coniques), second genre, lorsque l'équation est de degré 3 ou 4 (par exemple, la parabole cartésienne), etc. Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 319 et AT VI, 391-392. Sur la simplicité et la classification des courbes, cf. Bos, *Redefining geometrical exactness*, p. 355-361.

¹³⁶ Cf. Descartes, *Géométrie*, p. 412-413 et AT VI, 485.

¹³⁷ Cf. Descartes, *Geometria* 1659-1661, I, p. 323-324 et Bos, *op. cit.*, p. 363-368.

¹³⁸ Par exemple, pour construire l'équation $x^4 - apzx + aaqx = 0$, on « insère » $x^2 = ay$ dans un ou plusieurs des termes de l'équation pour obtenir l'équation d'une deuxième courbe qui est une conique. Cf. Rabuel, *Commentaires*, Regle IV, p. 325-326 et Bos, « The "construction of équations" », p. 347.

¹³⁹ Cf. Rabuel, *Commentaires*, p. 527. Plus précisément, cf. les articles « Sur la construction des egalitez » dans HARS 1708, p. 71-73 ; HARS 1709, p. 52-56 ; HARS 1710, p. 88-98 et les mémoires de Rolle parus en 1708 et 1709. Cf. également les mémoires de La Hire de 1710 et de Rolle de 1713. Pour une présentation de la critique de Rolle à travers un exemple et une étude des discussions afférentes dans l'Académie des sciences, cf. Bos, « The "construction of équations" », p. 369-371.

¹⁴⁰ L'Hospital prend d'ailleurs l'exemple des compas cartésiens pour affirmer que dans ce cas « la facilité de la construction, & de la démonstration récompense en quelque sorte ce deffaut » (L'Hospital, *Traité analytique des sections coniques*, p. 459).

¹⁴¹ Cités dans Rabuel, *Commentaires*, p. 418-419.

En effet, dans la pratique ne faut-il pas principalement avoir égard à la facilité, lorsque l'utilité est la même ? [...] Ce ne sera pas même une marque d'ignorance, que d'employer une courbe plus composée : car le Geometre peut savoir les différentes constructions du Problème. (Rabuel, *Commentaires*, p. 419)

Pire encore, le fidèle commentateur se rebelle en se demandant finalement si « M. Descartes a [bien] construit les Problèmes par les plus simples lignes ». Il fait ensuite référence aux critiques faites par Fermat dans sa *Dissertatio tripartita* publiée dans les *Varia Opera* (1679) et par La Hire dans sa *Construction des équations analytiques* publiée la même année avec d'autres traités¹⁴². L'un comme l'autre, n'hésitent pas à dire (et à montrer) que Descartes s'est trompé !

En un autre endroit des *Commentaires*, Rabuel, après avoir présenté la méthode de construction des équations jugée par Descartes « la plus générale et la plus simple » cite *in extenso* la préface critique de La Hire :

*Et à la fin des exemples je fais voir combien Monsieur Descartes s'est trompé lorsqu'il prescrit les lignes les plus simples qui sont nécessaires pour la construction des Equations de quelles Dimensions qu'elles puissent estre, faute d'avoir assez examiné ce qu'il a avancé ; car on ne peut se persuader qu'un homme aussi éclairé qu'il estoit dans la Geometrie, ait fait une telle faute, que our n'avoir assez considéré les cas dont il a parlé. Et comme je faisois voir à Monsieur Hugens de Zulichem les raisons que j'avois de reprendre ainsi Monsieur Descartes, il m'a communiqué un manuscrit de Monsieur de Fermat, d'une manière de construction des Equations, dans laquelle il le reprend aussi sur le mesme sujet¹⁴³. (La Hire, *La Construction des équations analytiques*, Préface et Rabuel, *Commentaires*, p. 565)*

Rabuel conclut en ajoutant que « la raison que M. DESCARTES donne de la distribution des genres de lieux, n'a aucun fondement, comme l'a fort bien remarqué M. de Fermat dans *Dissertation* » (Rabuel, *Commentaires*, p. 565). C'est un des (rares) moments des *Commentaires* où l'on perçoit une lecture critique, voire une opposition, de Rabuel.

On peut comprendre l'erreur de Descartes en se fondant sur le théorème de Bézout, qui énonce que deux courbes de degré m et n se coupent génériquement en mn points. Fermat et La Hire montrent en effet qu'on peut construire une équation de degré $2n$ ou $2n - 1$ avec des courbes de degré $k < n$ pour $n > 3$ ¹⁴⁴, qui sont donc plus simples que celles utilisées par Descartes dans sa méthode. Par exemple, comme le note Rabuel :

Pour une équation de sept dimensions, la Methode de M. DESCARTES employe deux lieux dont l'un a quatre degrez, l'autre qui est le cercle en a deux ; [...] celle de M. de la Hire employe deux lieux de trois degrez chacun. (Rabuel, *Commentaires*, p. 419)¹⁴⁵

Mais qu'en est-il des courbes prises aussi au sein d'un *même* genre ? Peut-on les comparer en ayant égard à la simplicité de leur construction ? Ce point n'est pas anodin car, par exemple, dans le premier genre, on serait tenté de privilégier la facilité de la construction par rapport à la simplicité de l'équation pour justifier que le cercle est plus simple que la parabole. Dans un autre passage, moins commenté que le précédent, Descartes répond ainsi au problème :

[...] qu'entre les lignes de chasque genre, encore que la plupart soient esgalement composées, en sorte qu'elles peuvent servir a déterminer les mesmes points, & construire les mesmes problemes, *il y en a toutefois aussy quelques unes qui sont plus simples*, & qui n'ont pas tant d'estendue en leur puissance.

¹⁴² Cf. Fermat, *Dissertatio Tripartita* et La Hire, *La construction des équations analytiques*, ainsi que les mémoires de La Hire de 1710 et 1712. Voir enfin L'Hospital, *Traité analytique des sections coniques*, Livre IX, Des problèmes déterminés, p. 291-361 qui est aussi mentionné par Rabuel. Bos note que L'Hospital est le premier à énoncer le « théorème principal » de la construction des équations dans un ouvrage imprimé : cf. L'Hospital, *op. cit.*, p. 346-347 et Bos, « The "construction of equations" », p. 349.

¹⁴³ Il s'agit du manuscrit de la *Dissertatio Tripartita*. Cf. la conclusion de Fermat : « An ergo errasse Cartesium ulterius Cartesiani dissimulabunt » (Fermat, *op. cit.*, p. 115).

¹⁴⁴ Pour une étude mathématique et historique détaillée de la construction des équations, cf. Bos, « The "construction of equations" ». Le « théorème principal » de la construction des équations y est donné p. 349-351.

¹⁴⁵ Cf. La Hire, *La construction des équations analytiques*, p. 425-426. Cf. aussi L'Hospital qui construit par exemple une équation de degré 9 avec deux cubiques (L'Hospital, *Traité analytique des sections coniques*, Prop. X, p. 344).

Comme, entre celles du premier genre, outre l'Ellipse, l'Hyperbole & la Parabole, qui sont également composées, le cercle y est aussi compris, qui manifestement est plus simple. Et entre celles du second genre, il y a la Conchoïde vulgaire, qui a son origine du cercle (Descartes, *Géométrie*, p. 323 et AT VI, 396)

À cette occasion, Rabuel mentionne à nouveau la recension de Guisnée dans l'*Histoire de l'Académie Royale des Sciences* de 1705¹⁴⁶ à propos de la *simplicité* des courbes prises dans un même genre :

Mais cela n'empêche pas que les Courbes Geometriques n'ayent toujours entre-elles *différents degrés de simplicité*. Non-seulement celles dont les Equations montent à un degré plus haut, sont incontestablement les moins simples, mais dans un même degré elles peuvent l'être plus ou moins. Ainsi dans le second degré le Cercle est plus simple que les autres, après lui c'est la Parabole, & l'Hyperbole prise par rapport à ses Asymptotes est celle qui l'est le moins. *De-là il suit que si un Problème indéterminé du second degré peut être résolu par deux ou plusieurs des quatre Courbes, il faut préférer la plus simple*. Cette plus grande simplicité dans la solution fait partie de ce qu'on appelle son *Elegance*, le reste consiste à la tirer plus immédiatement de ce qui est donné dans la Question, & à y faire entrer une moindre quantité de principes étrangers & auxiliaires. (*HARS*, 1705, p. 109)

À nouveau, le critère de simplicité de la description d'une courbe géométrique est mis en avant. Il n'est plus question de faute, mais d'élégance.

7. *Quelle postérité pour Rabuel ?*

Mais qu'en est-il de la postérité des *Commentaires* de Rabuel comparés en particulier à l'édition latine de Schooten qui paraît avoir eu une diffusion et une influence bien plus grandes ?

7.1. Rabuel et Schooten

Lespinasse critique assez durement le commentaire de Schooten dans sa préface :

M. de *Schooten* a voulu éclaircir le tout ; mais le Commentateur semble avoir aspiré lui-même à la gloire d'être Commenté à son tour. Il exige en plus d'un endroit autant d'étude & d'application, qu'il en faudroit pour comprendre le texte même, qu'il prétend expliquer. (Rabuel, *Commentaires*, Préface)

Paulian reprend à son compte ce jugement peu favorable sur Schooten dans son *Système général de philosophie* et loue les *Commentaires* de Rabuel :

Je me procurai [le commentaire] de Rabuel avec lequel je n'ai rencontré, pour ainsi dire, aucune difficulté. Il est tel, qu'on ne peut pas en desirer un plus complet. Descartes y est suivi pas à pas, & il y est mis à la portée de tout Mathématicien ordinaire. Aussi le fameux Wolf souhaitoit qu'on le traduisit en Latin, & qu'on n'imprimât jamais la Géométrie de Descartes qu'avec le Commentaire de Rabuel ¹⁴⁷ (Paulian, *Système général de philosophie*, I, 286-287)

Néanmoins, ce jugement sévère (et quelque peu partial) ne semble pas avoir été partagé par tous les mathématiciens français du dix-huitième siècle, si l'on en croit Montucla qui, dans son *Histoire des Mathématiques*, fait l'éloge du commentaire de Schooten et estime au contraire que le commentaire de Rabuel est « trop surchargé d'exemples & d'explications » :

Le commentaire de *Schooten* a eu, & avec raison, l'approbation générale. Il contient tout ce qui est nécessaire pour l'intelligence de la Géométrie de *Descartes*, sans avoir cette prolixité fatigante que la plupart des Commentateurs savent rarement éviter. [...] Nous avons encore un Commentaire sur *Descartes* par le Pere *Rabuel* Jésuite. *Cet ouvrage est sans doute excellent : mais outre qu'il est venu un peu tard, il*

¹⁴⁶ Cf. Rabuel, *Commentaires*, p. 114.

¹⁴⁷ Suit une citation du *Cursus Mathematicus* de Christian Wolff (1679-1754). Cf. Wolff, *Cursus Mathematicus*, V, p. 41. Sur Wolff et les mathématiques, cf. Cantù, « Mathematics. Systematical concepts ».

nous semble qu'il est trop surchargé d'exemples & d'explications. Nous croyons avec Newton, que ceux qui ont besoin de tant d'éclaircissements ne sont pas nés pour la Géométrie. (Montucla, *Histoire des Mathématiques* 1758, II, 123-124)¹⁴⁸

Il ne paraît donc pas que les *Commentaires* de Rabuel aient, à leur parution, supplanté l'édition latine de Schooten.

7.2. Les Jésuites

Parmi les mathématiciens jésuites, le P. Castel dans son « Discours Préliminaire » à l'*Analyse des infiniment petits comprenant le calcul intégral* (1735), traduction française de l'ouvrage de Stone qui visait à compléter l'*Analyse des Infiniment petits* (1696) de L'Hospital, mentionne parmi les ouvrages à lire pour « quelqu'un qui auroit le courage & le goût de se rendre solidement Géometre [...] la Géométrie de Descartes, qu'on liroit d'abord dans l'excellent & très-solide Commentaire du P. Rabuel, imprimé depuis peu » (Castel, « Discours préliminaire », p. xcvi-xcvii).

On trouve également une recension des *Commentaires* de Rabuel dans les *Mémoires de Trévoux*, Juillet 1730, 1206-1211¹⁴⁹. J'en retiendrai la même insistance didactique mise sur les exemples, en opposition à la généralité, et donc à Descartes, typique de l'enseignement mathématique chez les Jésuites :

M. Descartes, qui se vante d'avoir commencé sa Géométrie, où finissoit celle des Anciens, & même celle des Modernes qui l'ont précédé, en avoit donné la solution dans le cercle : mais elle est générale, & paroît embarrassante à ceux, qui ne sont pas aguerris dans cette Géométrie. Les idées trop générales sont abstraites, & ne présentent point d'objet assés déterminé. L'Interprète de M. Descartes s'est appliqué à particulariser le Problème [de Pappus] proposé, par un grand nombre d'applications & d'exemples, qui y répandent une lumière dont il avoit besoin : & c'est ainsi qu'il en use dans toute la suite de ce Commentaire. (Mémoires de Trévoux, juillet 1730, 1213)

Les *Commentaires* de Rabuel furent-ils utilisés dans les collèges jésuites ? La recension des *Mémoires de Trévoux* paraît confirmer ce qui est dit par Rabuel dans son introduction au sujet de son enseignement de *La Géométrie* au collège de la Trinité à Lyon :

Le P. Rabuel a eu le plaisir de voir de jeunes Elèves, entre les mains de qui il avoit mis son Commentaire manuscrit, se faire, après l'avoir lû, comme un jeu de Problèmes très-difficiles qu'ils se proposoient mutuellement. (*Mémoires de Trévoux, juillet 1730, 1208*)

On sait enfin que le manuel de Rabuel fut employé au collège Louis le Grand à Paris grâce à un épître de Leclerc de Montmerci, poète assez obscur, à qui l'on doit aussi un poème intitulé Voltaire.

Géomètre profond, avec malignité
De Sa Géométrie il voile la beauté ;
Inutiles détours ! Voici qu'un autre Œdipe
Le subtil Rabuel avec des yeux de Linx
Explique l'énigme du Sphinx
Et l'obscurité se dissipe ;
(Leclerc de Montmerci, *Epître au R. P. de La Tour*, p. 11)

Quant à l'historiographie, on trouve de nombreux articles qui mentionnent et étudient les

¹⁴⁸ Bossut dans son *Histoire générale des mathématiques* parle lui aussi de l'« excellent commentaire » de Schooten mais ne cite pas Rabuel : Bossut, *op. cit.*, I, 310.

¹⁴⁹ Cf. également *Journal des savants*, août 1730, 493-497. Ce compte-rendu paraphrase pour l'essentiel la préface de Lespinasse et développe le seul thème des courbes géométriques et mécaniques d'un point de vue historique et, pour finir, moderne, en mentionnant la géométrie des infiniment petits : (*ibid.*, p. 495-496).

Commentaires de Rabuel dans leurs études de cas¹⁵⁰, en sorte que l'ouvrage de Rabuel paraîtrait avoir été autant lu, sinon plus, par les historiens des mathématiques que par les mathématiciens du dix-huitième siècle.

8. Conclusion

J'ai cherché ici à présenter quelques éléments de la postérité de *La Géométrie* de Descartes en France dans la première moitié du dix-huitième siècle, en m'intéressant au *Commentaires sur la Géométrie de M. Descartes* du P. Rabuel, jésuite, parus à Lyon en 1730. J'espère être parvenu à documenter davantage la personne discrète de Rabuel, et le contexte et le contenu de son commentaire. En raison de la disproportion entre la taille de la présente contribution et le commentaire « diffus » du jésuite lyonnais, il ne m'a guère été possible d'entrer dans le détail de l'analyse du texte et j'ai procédé à grands traits. Il serait donc nécessaire de confronter mes interprétations à un plus large éventail de commentaires de Rabuel sur telle ou telle partie du texte de Descartes afin de les affiner et de les nuancer. J'espère néanmoins avoir offert un point d'entrée pour des études plus ponctuelles et détaillées de certains des thèmes du commentaire (par exemple, la méthode des coefficients indéterminés interprétée comme clef de *La Géométrie*).

Je crois d'autre part avoir montré que le commentaire tardif de Rabuel, en dépit de ses références ponctuelles aux géomètres modernes et au calcul de l'infini, est pour l'essentiel tourné vers le passé et la grande tradition de résolution des problèmes géométriques qui remonte aux géomètres grecs, à laquelle Descartes prétend avoir apporté une conclusion triomphante avec sa *Géométrie*. Pris dans la tradition des manuels mathématiques jésuites, il est saturé d'exemples et en ce sens infidèle à Descartes.

On ne sait si l'enseignement donné par Rabuel de *La Géométrie* rencontra de nombreux élèves jésuites du collège de la Trinité à Lyon, et fit d'eux des « neveux » de Descartes, mais il ne fait aucun doute que les *Commentaires sur la Géométrie de M. Descartes* furent et restent encore d'un grand secours pour de nombreux historiens des mathématiques, qui y ont appris à « entendre *La Géométrie* », en substituant aux omissions de Descartes les longs développements de Rabuel.

¹⁵⁰ Cf. par exemple Descotes, « Aspects littéraires de la *Géométrie* de Descartes », Gagneux, « La règle des signes de Descartes », Maronne, « Sur une lettre de Descartes qu'on dit de 1639 » sur le problème de Pappus, Serfati, « Constructivisme et obscurités dans la *Géométrie* de Descartes » sur les courbes géométriques et mécaniques. L'édition de *La Géométrie de Smith-Latham (1954)* mentionne également dans ses notes les commentaires de Rabuel.

Chapitre II

Le Lyonnais Philippe Villemot, fondateur d'une « astronomie cartésienne »

1. Introduction

Ce chapitre est consacré à une brève présentation de l'ouvrage de Philippe Villemot intitulé *Nouveau Système ou nouvelle explication du mouvement des planètes* paru à Lyon en 1707¹. Ce livre publié vingt ans après les *Principia* de Newton s'inscrit dans le cadre de la résistance des savants français à l'introduction de la physique de Newton en faveur du maintien des doctrines issues de Descartes. En fait, il constitue même la première réponse théorique importante des partisans du système des tourbillons à la nouvelle physique de Newton.

Nous allons d'abord faire un bref rappel des conceptions de Descartes concernant le mouvement des planètes et de leurs satellites, avant de rappeler rapidement les principaux apports de Newton, puis de résumer brièvement l'histoire de la résistance des savants français au newtonianisme dans le domaine de la mécanique céleste. Nous nous cantonnerons ici aux points spécifiquement liés à l'astronomie, renvoyant au début de la partie historiographique de l'introduction pour une présentation plus générale des idées de Descartes et Newton. Ensuite, après quelques rappels biographiques sur Villemot, nous décrivons certains aspects importants de son ouvrage, en soulignant ses apports à la cause des défenseurs du cartésianisme par son influence sur d'autres « cartésiens » (ou prétendus tels) comme Fontenelle, Malebranche ou Privat de Molières.

2. Préliminaires

2.1 Descartes et les mouvements planétaires

Descartes développe toute une explication physique du mouvement des planètes et des satellites dans le système solaire : son idée principale consiste en l'existence autour du Soleil, d'un tourbillon (constitué de corpuscules de ce qu'il appelle le second élément) animé d'un mouvement de révolution autour du Soleil.

Le fluide de ce tourbillon est censé entraîner les planètes dans son cours (à l'instar d'un fleuve qui emporte des branches, par exemple) et leur permettre ainsi de boucler leur orbite autour du Soleil. Les différentes couches du tourbillon ne tournent pas toutes à la même vitesse, expliquant ainsi les différentes vitesses des diverses planètes, même si celles-ci, pour Descartes, vont moins vite que le tourbillon qui les emporte.

Les mouvements des satellites (à l'époque étaient connus la Lune et les quatre principaux satellites de Jupiter) sont de même expliqués par l'existence analogue de tourbillons autour des planètes. Les étoiles étaient considérées comme d'autres soleils, elles-mêmes entourées chacune de son tourbillon entraînant un cortège planétaire, tous ces tourbillons étant en contact les uns avec les autres.

Notons que les explications de Descartes restent essentiellement qualitatives et qu'il n'est pas question pour lui d'expliquer en détail le mouvement complexe des planètes. Au cours des années 1660 à 1680, le système cartésien, d'abord fortement combattu va progressivement s'imposer en France² et en Europe. Remarquons également que, hormis quelques tentatives de Leibnitz³, on n'allait alors pas chercher à améliorer cette explication dans le but de décrire et de rendre compte

¹ Une analyse plus élaborée de l'ouvrage de Villemot sera donnée dans une édition critique et commentée, actuellement préparée par l'auteur de ce chapitre.

² On peut citer les cours de physique de Rohault et de Régis, Rohault, *Traité de Physique* (1671) et Régis, *Système de Philosophie* (1690).

³ Voir sur ce point Aiton, *The Vortex Theory*, p. 125-151.

de manière précise (et le cas échéant mathématique) du mouvement des planètes et des satellites sur leurs orbites.

2.2 Newton

La question des mouvements des planètes et de la Lune constitue une grande partie, voire la plus grande partie, des *Principia* de 1687.

Rappelons que les vraies lois du mouvement des planètes ont été découvertes par Kepler, essentiellement à partir des observations de Tycho Brahé. Ces lois postulent d'abord que les planètes circulent dans des orbites elliptiques dont le Soleil occupe un des foyers (première loi de Kepler). D'autre part, le rayon vecteur (segment de droite qui relie le Soleil à la planète) balaie des aires égales en des temps égaux (loi des aires, ou seconde loi de Kepler). Enfin, lorsqu'on compare les mouvements des différentes planètes entre elles, les carrés de leurs temps de révolution autour du Soleil sont comme les cubes des demi-grands axes⁴ des orbites elliptiques (troisième loi de Kepler).

Newton parvient à retrouver ces lois en considérant qu'il existe une force attractive entre les corps célestes, force proportionnelle aux masses et inversement proportionnelle au carré des distances. Cette force est la force de gravitation.

Newton étudie également le mouvement, particulièrement complexe, de la Lune autour de la Terre et parvient à expliquer mathématiquement un certain nombre d'irrégularités de ce mouvement orbital par l'action gravitationnelle conjointe de la Terre et du Soleil (la force d'attraction du Soleil venant perturber le mouvement lunaire, qui obéirait aux lois de Kepler si seule existait l'attraction de la Terre).

Non seulement la théorie exposée par Newton est radicalement incompatible avec le système de Descartes, mais le savant anglais emploie la seconde des trois parties (le livre II) de son volumineux ouvrage à réfuter les théories de Descartes, et surtout l'explication du mouvement des planètes par la théorie des tourbillons.

Il entreprend par exemple de montrer que dans un fluide la troisième loi de Kepler est ouvertement fautive : on devrait avoir $\frac{R^3}{T} = cste$ au lieu de $\frac{R^3}{T^2} = cste$ (Proposition 52), R et T étant respectivement le demi-grand axe de l'orbite, c'est-à-dire la distance moyenne du Soleil à la planète, et la période de révolution de la planète autour du Soleil (365,25 jours pour la Terre). Newton prétend également montrer que la seconde loi de Kepler (loi des aires) n'est pas compatible avec l'entraînement des planètes par un fluide en rotation autour du Soleil. Par ailleurs, selon le mathématicien anglais, ces deux lois de Kepler sont incompatibles entre elles dans le cas de l'hypothèse du tourbillon (voir Introduction, partie 2).

Plusieurs autres objections sont également présentées par Newton ; il affirme ainsi que le mouvement du tourbillon doit progressivement ralentir et finir par s'arrêter, en supposant que la rotation du tourbillon est due à la rotation du Soleil sur lui-même. Le mouvement des comètes lui fournit également une autre objection importante : alors que les planètes tournent toutes dans le même plan et dans le même sens autour du Soleil (ce qui s'accorde bien avec l'idée d'un tourbillon), il n'en est pas de même des comètes, dont les orbites se trouvent dans n'importe quel plan, coupant le plan de l'orbite des planètes, le plan de l'écliptique⁵.

Une prise de conscience progressive du défi posé par Newton va entraîner les savants favorables au système cartésien dans des défenses de la physique cartésienne et des réfutations des idées de Newton. Sur cette histoire, et les lectures parfois divergentes qui en ont été faites, nous renvoyons à la partie historiographique de l'introduction de cet ouvrage, ainsi qu'aux ouvrages cités dans celle-ci. Dans le domaine spécifique de l'astronomie le premier travail

⁴ Le demi-grand axe représente la distance moyenne entre le Soleil et la planète.

⁵ Le plan de l'écliptique est en fait le plan de l'orbite de la Terre. Les plans des orbites des autres planètes sont peu différents, hormis, dans une certaine mesure, l'orbite de Mercure.

conséquent qui peut s'apparenter à une réponse au défi newtonien est celui qui fait l'objet de ce chapitre, le livre de Villemot paru en 1707. Il s'agit là du premier système global de mécanique céleste fondé sur les tourbillons. Du point de vue des mouvements célestes, cela apparaît d'emblée comme un travail bien plus poussé par rapport à ce que l'on trouve dans Descartes et ses successeurs. Pour la première fois est donnée une explication détaillée des mouvements célestes fondée sur les tourbillons.

3. Villemot et son « Nouveau Système »

Philippe Villemot est né le 20 janvier 1651 à Chalons sur Saône et mort le 11 octobre 1713 à Paris, ou, peut-être, à proximité de Paris. Fils d'un commerçant, il fait ses études à Lyon (collège de la Trinité) et devient en 1683 curé de la Guillotière, à côté de Lyon, et chanoine de Saint-Nizier. C'est un des fondateurs de l'Académie de Lyon, et il participa à la première assemblée de cette institution le 30 mars 1700. Il a publié un unique ouvrage, celui que nous allons décrire, soit le *Nouveau système ou nouvelle explication du mouvement des planètes* paru en 1707 chez Declaustre à Lyon. Il fera paraître l'année suivante un complément et correctif de cet ouvrage dans les *Mémoires de Trévoux*⁶.

Le livre de Villemot est un in-12 d'environ 250 pages, le texte est en Français avec une traduction latine en face, d'où en fait 125 pages de texte ; ce n'est donc pas un livre très volumineux. Il est divisé en trois parties : la première traite du mouvement des planètes autour du Soleil, et plus généralement des mouvements animant le tourbillon entourant le Soleil, la seconde s'occupe du mouvement de rotation des planètes sur elles-mêmes (mouvement diurne), la troisième étudie ce que Villemot appelle le mouvement intérieur des planètes et de ses conséquences, comme la pesanteur.

Notre intention est de donner ici au lecteur une idée de la théorie de Villemot. Comme il n'est pas possible de décrire en quelques pages l'ensemble de cette théorie, nous nous concentrerons surtout sur la première partie, qui constitue le cœur du système. Nous sélectionnerons ensuite quelques questions particulièrement importantes issues des seconde et troisième parties de l'ouvrage (mouvement diurne, explication de la pesanteur).

Il importe d'avoir à l'esprit que, comme son titre l'indique, le livre de Villemot se cantonne aux problèmes astronomiques, et plus précisément celui des mouvements des astres, ce que l'on appelait parfois à l'époque l'astronomie physique. Il ne s'agit nullement d'une théorie générale de la physique et on ne sait pas ce que pense Villemot de nombreux aspects de la physique cartésienne, y compris sur des questions comme celle des trois types d'éléments de Descartes. Précisons aussi que si ce livre apparaît comme la première réponse importante des partisans des tourbillons à Newton, Villemot explique dans sa préface n'avoir eu en main que tardivement le grand livre de Newton, après la composition du *Nouveau Système*.

4. La Première partie du « Nouveau Système »

Nous allons donc d'abord traiter de la première partie, peut-être la plus essentielle. Cette partie est constituée de sept chapitres. Les cinq premiers traitent du mouvement des planètes, le sixième s'occupe du Soleil, et le septième des comètes. En fait il s'agit là d'un découpage du tourbillon solaire en trois parties : le Soleil au centre, entouré de la zone où orbitent les planètes, elle-même entourée de la zone où se trouvent les comètes. Ces trois zones sont animées de mouvements ayant des lois différentes. Les lois du mouvement de chacun des trois domaines sont l'objet essentiel de la première partie.

Les cinq premiers chapitres forment un tout cohérent, puisqu'ils constituent l'essentiel de l'explication physique du mouvement des planètes sur leurs orbites. En gros, cela correspond, pour un lecteur moderne habitué au cadre de la mécanique céleste newtonienne, à l'étude du

⁶ *Journal de Trévoux*, mai 1708, p. 860-870.

mouvement des planètes autour d'un centre fixe, sans tenir compte des perturbations, soit le mouvement képlérien, même si nous allons voir que Villemot ne parle pas explicitement que de la troisième loi de Kepler, celle qui relie les demi-grands axes des orbites⁷ aux périodes de révolution des planètes. Nous insisterons particulièrement sur le chapitre V qui nous semble très important du point de vue de la réponse des « cartésiens » à la mécanique céleste newtonienne, et aura des répercussions importantes sur les auteurs postérieurs. Les phénomènes correspondant pour nous aux perturbations mutuelles des planètes entre elles seront traités par Villemot⁸ dans la seconde et la troisième parties de son livre (respectivement les mouvements des nœuds et des apsides des orbites). Enfin les deux derniers chapitres de la première partie traitent du Soleil (chap. VI) et du « ciel » des comètes (chap. VII). De la sorte Villemot a décrit l'ensemble du tourbillon solaire qui, pour lui, se compose de trois domaines en partant du centre du Soleil : le Soleil, puis le domaine des planètes, et enfin, au-delà de Saturne, le domaine des comètes.

4.1 Préliminaires

Le chapitre I est consacré à ce que Villemot appelle son « principe fondamental ». Il imagine un fluide homogène⁹ dont quelques points (nous pourrions dire « corpuscules ») seulement sont déterminés à se mouvoir autour d'un centre. Il explique que le diamètre du cercle parcouru par chacun de ces points dépend de la vitesse des points en question et il entreprend de déterminer la relation entre le diamètre de l'« orbite » et la vitesse. Il donne deux démonstrations, l'une rapide, l'autre plus sophistiquée et arrive à la conclusion que cette relation, qui est le « principe fondamental » correspond à la proportionnalité entre le rayon de l'orbite (ou sa circonférence) et le carré de la vitesse. Il appelle « circulations premières » ce type de mouvement.

Le chapitre II donne cinq corollaires du « principe fondamental ». Il s'agit entre autres de l'expression de la force centrifuge, de l'explication de ce que Villemot appelle le « tournoyement », mouvement hélicoïdal qu'il applique à certains phénomènes dans les rivières ainsi qu'aux tornades. Il introduit également la notion de bouillonnement¹⁰ qui jouera un rôle essentiel dans son système, et par lequel il explique déjà ici les éclairs et le tonnerre (p. 28).

Le chapitre III décrit une hypothèse de nature cosmogonique, montrant comment on aboutit à un tourbillon qui est celui du système solaire, à partir d'une simple mise en mouvement de rotation autour d'un axe donné d'une partie limitée d'un fluide homogène (par la volonté divine). Il entreprend de montrer comment, par suite des « lois de la communication du mouvement »¹¹, le mouvement se diffuse dans tout le volume du futur tourbillon solaire, puis comment la matière du tourbillon finit par se répartir en fonction d'une certaine condition d'équilibre qui correspond à une loi de répartition des vitesses des couches du tourbillon en fonction de la distance au centre de rotation. C'est cette condition d'équilibre qui est essentielle¹², explique-t-il, et peu importe le processus exact par lequel on y parvient : l'hypothèse précédemment décrite n'est qu'une possibilité (p. 38).

Décrivons un peu plus précisément l'hypothèse de Villemot. Il suppose que Dieu a imprimé à une partie seulement du futur tourbillon solaire un mouvement circulaire très rapide autour d'un axe ; ce mouvement se communique progressivement à toute la matière du futur grand

⁷ Ceci étant dit en termes d'orbites elliptiques képlériennes, sachant que Villemot ne dit nulle part que les orbites sont elliptiques ; il est possible qu'il s'agisse pour lui de cercles dont le centre est décalé par rapport au Soleil, tout en contenant le Soleil dans leur plan.

⁸ Pour Villemot et les défenseurs de la théorie tourbillonnaire du mouvement des planètes qui suivront, ces phénomènes n'ont bien sûr rien à voir avec des perturbations planétaires, qui correspondent à la théorie newtonienne de l'attraction.

⁹ Villemot ne précise pas ce qu'il entend exactement par fluide homogène. Cela implique certainement des propriétés qui ne dépendent pas de la partie du fluide que l'on considère. Il est vraisemblable qu'il y ait homogénéité de composition et de densité de ce fluide.

¹⁰ Voir les chapitres III et VI du *Nouveau Système*.

¹¹ Lois non précisées par Villemot et qui résultent certainement d'actions de contact (chocs) entre particules.

¹² On va voir que cette condition d'équilibre est essentielle car elle permet de donner une explication de la troisième loi de Kepler.

tourbillon, toutefois selon un mécanisme assez complexe¹³. Chaque couche sphérique entourant le centre du mouvement (centre qui est le futur Soleil) est caractérisée par une certaine vitesse des particules, et, plus les couches sont internes, plus leur force centrifuge globale est faible.

Selon Villemot, cela va engendrer un mouvement qu'il appelle « bouillonnement », sorte de mouvement radial oscillant très rapide¹⁴. Il résulterait de ce bouillonnement une perte d'équilibre des corpuscules jusqu'alors en révolution autour du centre, et une expulsion radiale des plus agités de ceux-ci qui, une fois expulsés se « satellisent »¹⁵ autour du centre à une distance qui correspond à leur vitesse dans la loi des « circulations premières »¹⁶ (rayon proportionnel au carré de la vitesse).

La matière primitive (celle primitivement en mouvement, qui n'occupait au départ qu'un volume restreint) se distribuant en rayonnant, Villemot arrive à la conclusion que chaque couche sphérique concentrique en contient finalement une quantité proportionnelle à son rayon. Cette matière redistribuée met ensuite en mouvement le reste de la matière qui l'entoure et il doit en résulter au final un rapport entre les quantités de mouvement¹⁷ de chaque couche concentrique¹⁸

soit $\frac{P'}{P} = \frac{\sqrt{R'^3}}{\sqrt{R^3}}$ en appelant P et P' les quantités de mouvement pour chaque couche, R et R' les rayons de ces couches. De cette relation, Villemot déduit le rapport des vitesses entre les couches soit $V\alpha \frac{1}{\sqrt{R}}$ (α ayant le sens de « proportionnel »), expression fondamentale du livre, selon lui, et dont il va déduire « tous les phénomènes des mouvements des Cieux » (p. 40).

On peut noter que les trois premiers chapitres de la première partie ont été critiqués en privé par Malebranche¹⁹, pour qui il aurait fallu les retirer pour commencer par la loi de Kepler, c'est-à-dire en fait par le chapitre V (voir après). Au-delà de Malebranche, il est possible que ces trois premiers chapitres, pouvant présenter certaines conceptions mécaniques assez peu conventionnelles, aient nui à la réception du livre par certains des meilleurs scientifiques de l'époque comme Bernoulli ou Leibniz²⁰.

Le chapitre IV divise en trois parties le tourbillon entourant le Soleil : une partie interne, jusqu'en dessous de l'orbite de Mercure, qu'il nomme le « ciel du Soleil », puis le « ciel des planètes », de Mercure à Saturne, et enfin le « ciel des comètes », de l'orbite de Saturne, jusqu'à l'extrémité du tourbillon (p. 40-42).

4.2 L'équilibre des cieux

L'équilibre chez Villemot

Le chapitre V montre que la loi des vitesses précédemment déterminée, $V\alpha \frac{1}{\sqrt{R}}$ permet de retrouver la troisième loi de Kepler²¹, soit $\frac{R^3}{T^2} = cste$ avec T période de révolution de la planète.

Un point important du raisonnement de Villemot se trouve exposé p. 54-58. Il cherche à répondre à une critique qu'il imagine qu'on pourrait lui faire. A savoir, puisque l'expression de la

¹³ Voir les p. 32-40. Seules les pages paires sont en français, les pages impaires étant occupées par la traduction latine.

¹⁴ On va voir plus bas que ce bouillonnement se trouve dans le Soleil (et les étoiles), mais aussi dans le corps des planètes et satellites, comme la Lune.

¹⁵ L'expression est anachronique mais permet de bien visualiser ce que Villemot imagine.

¹⁶ Il s'agit bien sûr du « principe fondamental ».

¹⁷ La quantité de mouvement d'une couche sphérique correspond au produit de la quantité de matière de cette couche par la vitesse des particules de cette couche, ces particules ayant toutes la même vitesse. La quantité de matière de chaque couche étant proportionnelle à la surface de la couche, on peut passer d'une relation entre les quantités de mouvement à une relation entre les vitesses.

¹⁸ Pour la facilité de la compréhension nous ne reprenons pas la plupart des notations mathématiques de Villemot.

¹⁹ Malebranche, lettre à Berrand, 27 avril 1711 dans Malebranche, *Œuvres*, t. XIX

²⁰ Voir la lettre de Jean (I) Bernoulli à Leibniz du 10 décembre 1710, et la réponse de Leibniz le 28 février 1711 dans *Virorum Celeberr. Got. Gul. Leibniti et Johan Bernoulli commercium philosophicum et mathematicum*, t. II, p. 240 et 244.

²¹ Loi que Villemot appelle la « règle du problème de Kepler ».

force centrifuge d'un mobile en circulation autour d'un centre est proportionnelle à $\frac{V^2}{R}$, il est facile de voir, avec la répartition des vitesses qu'il vient d'obtenir, que la force centrifuge d'un corpuscule d'une couche inférieure sera supérieure à la force centrifuge d'un corpuscule d'une couche supérieure, dans un rapport inverse aux carrés des distances au centre (*Nouveau Système* p. 56). Il semblerait donc que les couches inférieures du tourbillon doivent passer par-dessus les couches supérieures, et que l'on ne soit donc pas du tout dans un état d'équilibre.

A cela Villemot répond qu'il ne faut pas comparer les forces centrifuges des particules, mais celles globalisées au niveau de chaque couche sphérique : il faut donc multiplier la force²² en $\frac{K}{R^2}$ (K étant une constante de proportionnalité, que nous introduisons) par la surface, en $4\pi R^2$, et les forces centrifuges de chaque couche, soit $4\pi K$ sont donc égales, d'où l'équilibre des couches qui se maintiennent toujours à la même distance du centre du tourbillon. C'est ce que Villemot appelle l'équilibre des cieux. Il faut noter que ce résultat, qui est ici présenté comme une conséquence résultant de son hypothèse sur la formation du tourbillon solaire, devient un résultat essentiel, base des mouvements célestes dans le mémoire anonyme, mais en fait de Villemot²³, qui paraît l'année suivante dans le *Journal de Trévoux*²⁴. Ce bref article vise manifestement à corriger certains points critiqués de son système, par exemple par Malebranche comme on l'a vu, et la fragile et complexe hypothèse « cosmogonique » de formation du tourbillon n'est plus évoquée, le point essentiel étant l'équilibre des forces centrifuges des différentes couches.

Diverses objections peuvent évidemment être faites à ce résultat : Fontenelle en présente une dans l'*Histoire de l'Académie des sciences* pour 1707 (« Sur les Forces centrales des planètes », p. 97-103). Fontenelle qui dans l'ensemble est plutôt élogieux pour l'ouvrage nouvellement paru de Villemot concentre son commentaire sur l'explication des lois de Kepler par le prêtre de la Guillotière, mais sa critique porte sur la loi d'équilibre des forces centrifuges de Villemot. Pour Fontenelle il n'y a aucune raison de considérer la force centrifuge d'une couche : car les points du tourbillon constituent un fluide et n'ont nulle liaison les uns avec les autres ; c'est donc chaque particule de la couche inférieure, dotée de plus de force centrifuge, qui va chasser une particule de la couche supérieure et prendre sa place.

Poursuivant son raisonnement, Fontenelle suggère que l'on considère bien la force centrifuge par petites parties des couches, suggérant que la densité de deux couches voisines n'est pas la même : la force centrifuge est proportionnelle à la masse, donc la différence de densité, donc de masse, peut compenser le fait que la force centrifuge des particules de la couche inférieure est plus forte que celle des particules de la couche immédiatement supérieure, si la densité de cette dernière est supérieure. L'important est que ceci permet de sauvegarder la notion d'équilibre du tourbillon avancée par Villemot.

Pour revenir au livre de Villemot lui-même, il y a donc correspondance entre cette notion d'équilibre des forces centrifuges de chaque couche et la loi de vitesse en $\frac{1}{\sqrt{R}}$. Or cette loi de vitesse permet d'aboutir directement à la troisième loi de Kepler $\frac{R^3}{T^2} = cste$. D'où l'importance de ce résultat pour Villemot, et pour la plupart des savants favorables aux tourbillons qui l'admettront au cours des trois décennies suivantes.

Il est une autre critique fondamentale que l'on peut faire ici à Villemot. Il donne l'expression de la force centrifuge d'une particule du tourbillon qui tourne le long de l'équateur du tourbillon,

²² La force centrifuge est proportionnelle à $\frac{V^2}{R}$, et la vitesse V est elle-même proportionnelle à $\frac{1}{\sqrt{R}}$, si bien que la force centrifuge est bien proportionnelle à $\frac{1}{R^2}$.

²³ Ainsi que l'indique l'académicien lyonnais Guillaume Rey disciple de Villemot, dans le numéro d'août 1726 du *Journal de Trévoux* (p. 1436-1440).

²⁴ *Journal de Trévoux*, mai 1708, p. 860-870. Ce texte se donne en fait comme une présentation du livre de Villemot, conformément à toutes les présentations de nouveaux ouvrages que l'on trouve dans ce journal, mais il présente des précisions et des développements importants.

et il la multiplie par la surface globale de la couche (proportionnelle à R^2) pour obtenir la force centrifuge globale de la couche sphérique. Mais ceci semble impliquer qu'il considère que toutes les particules de la couche, quelle que soit leur latitude, ont la même force centrifuge, ou du moins que la force centrifuge par unité de surface est partout la même sur une couche donnée. Or Villemot assume par ailleurs que, quelle que soit leur latitude, les parties de la couche ont la même vitesse. Or on sait que la force centrifuge est proportionnelle à $\frac{v^2}{r}$, r étant le rayon du cercle sur lequel tourne la particule. Plus la latitude est élevée plus r est petit, puisque $r = R \cos l$, avec l la latitude de la particule ; par conséquent la force centrifuge des particules augmente avec la latitude, ce qui est incompatible avec la simple multiplication que fait Villemot.

Cette théorie de l'équilibre des couches concentriques se retrouve chez Malebranche²⁵, avec l'égalité des forces centrifuges globales de chaque couche²⁶, et aussi la même erreur que nous venons de mentionner chez Villemot. Notons que Malebranche est élogieux pour le livre de Villemot ; on peut lire dans son *Eclaircissement XVI* de *De la Recherche de la vérité* (1712) que c'est un « ouvrage qui marque dans l'auteur beaucoup de force et d'étendue d'esprit ».

L'équilibre pour Privat de Molières

La théorie de l'équilibre des couches de Villemot sera reprise, corrigée et fortement améliorée par Joseph Privat de Molières dans un mémoire²⁷ lu devant l'Académie des sciences en mai 1728. Dans ce mémoire, Molières, après avoir étudié le cas du tourbillon cylindrique, s'intéresse au cas du tourbillon sphérique, qui correspond au système solaire. Molières cherche à montrer que dans le cas où le fluide (constitué de petites particules²⁸) tournant autour d'un axe remplit une sphère (dont l'axe de rotation est l'un de ses diamètres) entièrement entourée d'une paroi sphérique solide, alors la force ou pression que les corpuscules les plus extérieurs exerceront sur cette paroi sera perpendiculaire à celle-ci. Cette force, en chaque point de la surface sphérique, semble donc bien venir du centre de la sphère, et non de l'axe de rotation, comme l'on s'y attendrait, pour la force centrifuge. Il essaie aussi de montrer que chaque corpuscule extérieur exercera la même force sur la surface sphérique externe, quelle que soit sa latitude. Et il en sera ainsi pour toutes les couches successives. Cette force, égale donc en tout point de la couche externe, il l'appelle force centrale, pour la distinguer de la force centrifuge (Prop. II), ce qui constitue une modification et une correction de ce qu'ont fait Villemot et Malebranche qui raisonnent en termes de forces centrifuges, avec l'erreur que nous avons mentionnée.

Pour cette démonstration, Molières se sert d'un lemme qu'il avait donné au début de son mémoire (lemme 4, p. 246) et qui énonce (voir Figure 1)²⁹ :

Si un globule Z se mouvant uniformément dans une droite AB rencontre un plan inébranlable MN , le globule Z pressera ce plan dans la direction BE , qui passe par le centre B de Z , & par le point d'attouchement G , & qui par conséquent est perpendiculaire sur le plan MN , & ne pressera le plan que dans cette seule direction.

²⁵ Pour Malebranche et les tourbillons, voir Robinet, *Malebranche de l'Académie des sciences*, Vrin, 1970.

²⁶ Malebranche, « XVIe éclaircissement sur la lumière et les couleurs, sur la génération du feu, et sur plusieurs autres effets de la matière subtile », *De la recherche de la vérité* (1712) dans Malebranche, *Œuvres*, t. III.

²⁷ Privat de Molières, *Loix générales du mouvement dans un tourbillon sphérique*, p. 245-267. Pour Molières, voir aussi Introduction, parties 2 et 3.

²⁸ Molières parle de « globules égaux et indéfiniment petits » dans le mémoire de 1728, sans préciser qu'il s'agit de « petits tourbillons », ce qui est normalement le cas dans sa théorie, qui sera exposée entièrement dans les *Leçons de physique*. En fait, Molières reprend en partie le contenu de ce mémoire dans ses *Leçons* en considérant, dans un premier temps, des corpuscules durs qu'il remplace ensuite par des petits tourbillons.

²⁹ Ce lemme que nous donnons à titre d'illustration renvoie à la fig. 2 du mémoire, et nous renvoyons le lecteur intéressé au volume des *HLARS*.

Cette force de pression sera à la force centrifuge comme le cosinus de la latitude. A partir de là il est facile à Molières de montrer que la force centrale est la même pour tous les corpuscules tournant, quelle que soit leur latitude sur la couche sphérique considérée, alors que ce n'est évidemment pas le cas pour la force centrifuge (p. 257).

Molières considère ensuite l'extension du tourbillon précédent, jusqu'alors limité par une surface sphérique que l'on peut considérer comme une paroi rigide. A l'extérieur de cette paroi le fluide est au repos (corpuscules au repos) et ce jusqu'à une autre paroi extérieure. Il suppose qu'on supprime la paroi et essaie de montrer que l'on obtiendra finalement un équilibre tel que les points d'une même couche sphérique (situés à une égale distance du centre) auront la même vitesse (vitesse fonction de la distance au centre). Dans sa démonstration Molières cherche à considérer la situation globule par globule, traitant de globules situés à diverses latitudes. Il montre que quelle que soit leur latitude, les globules communiquent à chaque instant une égale quantité de leur force et de leur vitesse aux particules de la couche immédiatement supérieure qui les touchent, et ils les font circuler dans le même sens qu'ils circulent eux-mêmes. Ainsi les particules de la couche immédiatement supérieure prennent toutes la même vitesse, et ainsi de suite en s'éloignant du centre.

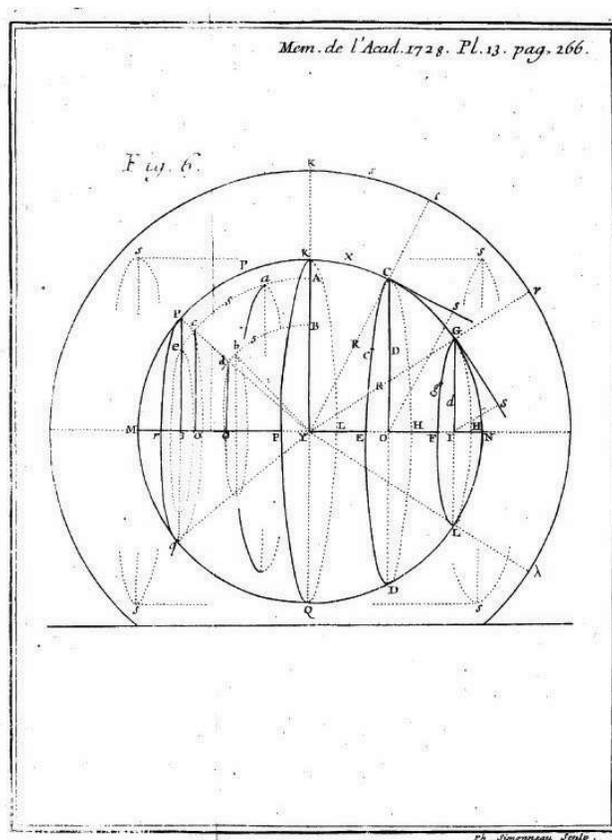


Fig. 1 : Explication de la troisième loi de Kepler par Molières (HARS 1728)

Dans le même temps, les particules de la couche inférieure perdront de la vitesse en la communiquant aux particules de la couche supérieure et ainsi de suite jusqu'au centre. Et on aboutira ainsi à un équilibre où toutes les particules de chaque couche auront la même vitesse donnée (fonction de la distance au centre). Comme chez Villemot et Malebranche, on retrouve l'équilibre des couches, sauf qu'il s'agit de l'équilibre des forces centrales globales et non plus des forces centrifuges globales de chaque couche. La nouvelle paroi extérieure peut en fait (on le sait

par ailleurs) représenter les autres tourbillons voisins, ceux des autres étoiles, tourbillons qui exercent leur propre pression et bloquent l'expansion du tourbillon considéré.

A partir de là, Molières va s'intéresser à l'équilibre obtenu (prop. IV). Il va montrer, comme Villemot le faisait en parlant de forces centrifuges (*Nouveau système*, p. 56) que dans un tourbillon sphérique dont les forces centrales de tous les points sont en équilibre ces forces sont en $\frac{1}{R^2}$. Or, pour étudier cet équilibre, Molières, à l'instar de Villemot, cherche à montrer, répondant implicitement à l'objection de Fontenelle, qu'il ne faut pas comparer la force centrale (et non plus centrifuge comme chez Villemot) de deux corpuscules appartenant à des couches différentes, mais qu'il faut intégrer les forces centrales sur l'ensemble de la surface sphérique de chaque couche. Ici cette intégration consiste bien, au final (à une constante proportionnelle près) à multiplier l'expression de la force centrale par la surface ($4\pi R^2$), puisqu'on a établi clairement (ce qui n'était pas le cas chez Villemot) que les forces centrales sont les mêmes sur tous les points de la surface d'une couche donnée. L'idée de Villemot est donc bien maintenue par Molières, tout en étant clarifiée et corrigée. A partir de là avec des raisonnements similaires à ceux de Villemot on pourra aisément retrouver que les vitesses sont en $\frac{1}{\sqrt{R}}$, puis retrouver la troisième loi de Kepler³⁰.

Ainsi donc Villemot, et surtout Privat de Molières à sa suite, semblent pouvoir établir la troisième loi de Kepler dans le cadre du mouvement tourbillonnaire, au contraire de ce qu'affirmait Newton. Il reste toutefois une autre importante objection newtonienne : la seconde loi de Kepler ou loi des aires qui implique pour une planète sur son orbite³¹ une loi de vitesse en $\frac{1}{R}$ et qui semble incompatible, dans le cadre de l'entraînement par un tourbillon, avec la loi en $\frac{1}{\sqrt{R}}$, correspondant à la troisième loi de Kepler.

Villemot apporte une réponse partielle à cette objection, en se restreignant au cas des orbites à faible excentricité³² (ce qui est le cas de la plupart des planètes du système solaire) : il cherche à montrer, exemple numérique à l'appui, que les deux lois en $\frac{1}{R}$ et en $\frac{1}{\sqrt{R}}$ donnent des résultats très proches pour une faible variation de R au cours de la révolution planétaire (ce qui correspond à une orbite presque circulaire, de faible excentricité) (*Nouveau système*, p. 50-52). Pour Villemot la seconde loi de Kepler est donc vérifiée de manière approximative. Comprenons bien que pour Villemot la planète dont l'orbite est excentrique traverse plusieurs couches circulaires, et prend la vitesse orthoradiale de chacune de ces couches lorsqu'elle les traverse³³.

Là encore, une réponse plus élaborée se retrouvera plus tard, chez Privat de Molières, aussi bien dans un mémoire³⁴ de 1733, que dans son quatrième tome des *Leçons de Physique* paru en 1739, mais aussi chez Jacques Cassini dans un mémoire³⁵ de 1736. Nous allons décrire ce que Molières fait dans les *Leçons de physique* sa théorie ayant été quelque peu modifiée depuis le mémoire de 1733.

Molières, au contraire de Villemot, considère que les tourbillons ne sont pas sphériques, mais déformés par la pression des tourbillons des étoiles voisines, d'où le fait que les couches concentriques peuvent être ovales, voire elliptiques ; il essaie en particulier de justifier le fait que

³⁰ Notons que Molières expose également cette même théorie donnée dans le mémoire de 1728 dans la leçon II du premier tome des *Leçons de Physique*. Il l'a donc enseignée au Collège royal.

³¹ C'est-à-dire que la vitesse de la planète sur son orbite est fonction de la distance de la planète au Soleil, distance qui est elle-même fonction de la position de la planète sur son orbite.

³² En fait Villemot considère manifestement l'orbite comme un cercle excentré par rapport au Soleil, ce qu'en astronomie ancienne on appelait un excentrique. Il se réfère à ce qu'il appelle le « problème de Ptolémée » donc vraisemblablement à un mouvement sur une orbite du type « excentrique à équant », et il se contente de comparer les vitesses des planètes à leur périhélie et à leur aphélie. Il prétend (p. 50) que Ptolémée aurait montré (ou du moins « remarqué ») la loi de vitesse en $\frac{1}{R}$, mais nous n'avons trouvé aucune trace de ceci dans la *Composition mathématique* (*l'Almageste*) de cet auteur, même s'il est clair que le mouvement dans un excentrique à équant constitue une relativement bonne approximation du mouvement képlérien pour des excentricités faibles.

³³ Villemot s'oppose à Descartes en ce qu'il considère que les planètes se déplacent exactement à la même vitesse que les corpuscules du tourbillon qui les entraînent.

³⁴ Molières, *Les Loix Astronomiques des vitesses des Planètes dans leurs Orbites expliquées mécaniquement dans le Système du Plein*

³⁵ Cassini, *De la manière de concilier dans l'hypothèse des tourbillons les deux règles de Kepler.*

le Soleil se trouve au foyer de ces ellipses. Or, si l'on considère le plan de l'orbite d'une planète, la conséquence est que celle-ci reste canalisée dans une couche dont la coupe est elliptique dans le plan orbital³⁶ (au contraire de Villemot la planète ne passe pas d'une couche dans une autre). Une conséquence de cette situation est le rétrécissement de la largeur de ces « canaux » au niveau du périhélie (voir Figure 2) : la même quantité de fluide du tourbillon doit passer dans un canal qui se rétrécit, et doit donc augmenter sa vitesse, ce qui augmente également la vitesse de la planète ; Molières montre que l'on retrouve alors la loi de vitesse en $\frac{1}{R}$ pour une planète donnée, et qu'elle n'est donc nullement incompatible avec la loi en $\frac{1}{\sqrt{R}}$, entre deux planètes différentes. D'où la réponse à une autre importante objection de Newton³⁷.

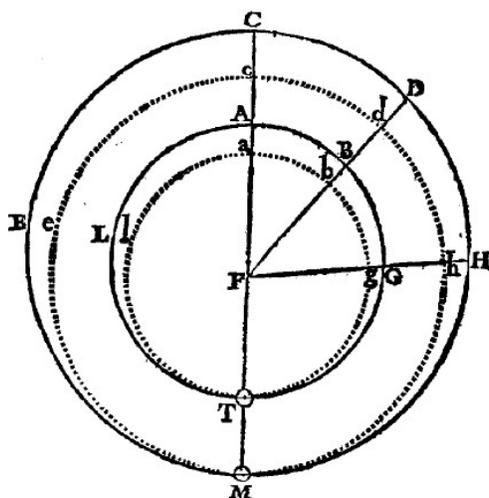


Fig. 2 : Molières, *Les Loix Astronomiques*, p. 303 (voir aussi Molières, *Leçons*, t. 4)

4.3 Le Soleil

Le chapitre VI du *Nouveau système* est consacré au centre du tourbillon, c'est-à-dire au Soleil.

Pour Villemot, à l'intérieur du ciel des planètes (voir le chapitre IV) se trouve le Soleil. Pour lui, la matière le constituant est soumise aux lois de la « circulation première », celle donnée par son « principe fondamental », soit $V^2 \propto R$.

Il montre que, au niveau de la surface du Soleil, la matière du deuxième ciel (le ciel des planètes), conformément à ce qui est pour nous la troisième loi de Kepler, doit faire sa rotation en trois heures, ce qui est 220 fois plus rapide que la rotation du Soleil, que l'on peut mesurer par le mouvement des taches solaires. Cette énorme différence de vitesse pourrait, semble-t-il, poser problème. Pour Villemot cette différence s'explique par le fait que seule la 219^e partie du mouvement de la matière solaire est consacrée au mouvement de rotation ; tout le reste est « absorbé » par le bouillonnement, type de mouvement déjà décrit précédemment ; la matière solaire, en plus de la rotation autour de son axe, est animée d'un mouvement radial oscillant très rapide³⁸. Villemot explique que bien que cette matière solaire vienne percuter avec force les

³⁶ Molières, *Leçons*, t. 4, Leçon XV, prop. XI, p. 80.

³⁷ L'esquisse de l'idée de Molières pour retrouver la seconde loi de Kepler semble se trouver dans la troisième partie des *Principes de la philosophie* de Descartes, art. 141, même si Descartes n'évoque jamais explicitement les lois de Kepler.

³⁸ Concernant cette différence entre la vitesse de rotation sur soi-même du Soleil ou d'une planète 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 » contenue dans l'ouvrage de Villemot. Saurin, *Examen d'une difficulté*. Cette « réponse » semble aussi avoir influencé un autre académicien parisien, à savoir Malebranche, bien que le « bouillonnement » de Villemot soit pour ce dernier une rupture d'équilibre de petits tourbillons de matière subtile. Voir Robinet, *Malebranche de l'académie des sciences*.

couches inférieures du tourbillon, celles-ci offrent une résistance suffisante pour empêcher l'expulsion de la matière solaire.

4.4 Le ciel des comètes

Le mouvement des comètes constitue la chapitre VII et dernier de la première partie. Notons qu'au chapitre IV Villemot avait décrit le mouvement du ciel des comètes comme « un mouvement de courants irréguliers qui vont de tous côtés vers l'Orient & l'Occident, vers le Nord & le Sud ».

Villemot a tiré en fait cette déduction du mouvement des comètes qui, contrairement aux planètes, ne circulent pas nécessairement dans le plan de l'écliptique (ou dans un plan proche de celui-ci) mais dans n'importe quelle direction. D'autre part même une comète circulant dans le plan de l'écliptique peut tourner dans le sens contraire au mouvement des planètes.

Il est clair que les comètes et leur mouvement constituent un défi pour la théorie des tourbillons, et ceci avant même l'apparition des idées de Newton. Villemot, tout en faisant circuler les comètes au-delà de l'orbite de Saturne, répond à ce défi de manière différente à ce qu'avait fait Descartes³⁹. Pour cela il va devoir nier le fait que Newton avait montré, par l'examen des parallaxes, que certaines comètes pouvaient passer « en-dessous » de Saturne ou Jupiter⁴⁰. Villemot tente d'expliquer que les comètes ont un mouvement tellement irrégulier que ce que l'on croit être des parallaxes sont en fait dues non au déplacement de la Terre sur son orbite, mais résulte du mouvement irrégulier et imprévisible de la comète elle-même. Puis Villemot critique un autre argument de Newton (argument à notre sens bien plus faible que le précédent) fondé sur la comparaison de l'éclat de Jupiter, Saturne et de certaines comètes⁴¹. Villemot estime que le ciel des comètes doit regrouper les parties les plus grossières⁴² expulsées par le tourbillon qui se trouve en-dessous. Il explique d'autre part les mouvements irréguliers du « ciel des comètes » par la présence des tourbillons des étoiles voisines ; il procède à une analogie avec la formation de mouvements complexes dans les rivières.

Les idées de Villemot sur les comètes sont très différentes de celles de Descartes⁴³. Pour ce dernier, les comètes, tout comme les planètes, d'ailleurs, sont d'anciennes étoiles, anciens centres de tourbillon, qui ont été progressivement dépouillées de leur tourbillon environnant. Chez Descartes, comme chez Villemot, on a une subdivision du tourbillon au-dessus de l'orbite de Saturne. Mais alors que chez Villemot on n'a plus que des mouvements irréguliers de la matière du tourbillon au-dessus de Saturne, chez Descartes, l'ensemble du tourbillon, jusqu'au niveau où il entre en contact avec les tourbillons des autres étoiles, est en rotation dans le même plan et le même sens. Simplement, chez Descartes, les corpuscules du tourbillon connaissent une vitesse décroissante en fonction de leur distance au Soleil jusqu'à l'orbite de Saturne, qui représente la plus faible vitesse, tandis qu'au-dessus de Saturne, la vitesse du tourbillon augmente avec la distance au Soleil. Les futures comètes ou planètes sont donc d'anciennes étoiles, s'étant couvertes entièrement de tâches (du troisième élément⁴⁴) et donc devenues obscures, en même temps qu'elles perdaient leur tourbillon. Une fois qu'elles n'ont plus de tourbillon, elles sont capturées par l'un des tourbillons voisins et entraînées par son mouvement de rotation. En même temps elles descendent dans ce tourbillon jusqu'à un certain niveau, qui dépend de l'agitation⁴⁵ de la matière de l'astre : elles descendent jusqu'au niveau où la matière du tourbillon à la même

³⁹ Rappelons que pour Descartes les comètes sont des « voyageuses intersidérales » qui passent d'un tourbillon stellaire dans un autre.

⁴⁰ Newton, *Principes*, t. II, livre III, lemme IV. Nous nous référons à la traduction française de la marquise du Châtelet, fondée sur la troisième édition latine.

⁴¹ *Ibid.*

⁴² Précisons que dans son ouvrage Villemot se cantonne à l'astronomie et ne précise pas ses positions exactes par rapport à d'autres points de la physique cartésienne, comme par exemple les trois types d'éléments que l'on trouve chez Descartes.

⁴³ Descartes traite des comètes dans ses *Principes de la philosophie*, troisième partie, art. 119 à 139.

⁴⁴ Pour les éléments chez Descartes, voir l'Introduction, partie 2.

⁴⁵ Pour la notion d'agitation chez Descartes, voir l'art. 21 de la troisième partie des *Principes de la philosophie*.

agitation ; un astre qui a suffisamment d'agitation ne descendra pas jusqu'au niveau de l'orbite de Saturne, il s'arrêtera de descendre aux couches du tourbillon ayant la même agitation, puis il remontera, et repartira vers un tourbillon voisin. Tel est le sort des comètes qui, pour Descartes, sont des voyageuses interstellaires qui passent d'un tourbillon à un autre, donc d'un système planétaire à un autre. Les futures planètes, au contraire, chutent en-dessous (ou au pire à la hauteur) de la future Saturne, et se mettent ensuite à tourner autour de Soleil. On voit donc que, même si pour Villemot le ciel au-dessus de Saturne est animé de tous autres mouvements que pour Descartes, il n'en reste pas moins pour les deux hommes que les comètes restent toujours au-delà de Saturne, au contraire de la théorie newtonienne et de ce qui est réellement.

La théorie de Molières pour les comètes ne s'inspire pas de celle de Villemot, mais bien plus directement de celle de Descartes. Pour Molières, comme pour Descartes, tout le tourbillon est en rotation dans le même sens, jusqu'à la hauteur des tourbillons voisins. Pour Molières, comme pour Descartes, les comètes sont d'anciens centres de tourbillons, qui passent d'un tourbillon à un autre. Toutefois il admet la théorie de Newton selon laquelle les comètes ont un mouvement parabolique dont le Soleil est le foyer (lors de leur passage dans notre tourbillon) et, pour lui, contrairement à Descartes et à Villemot les comètes peuvent pénétrer dans les parties du système solaire internes à Saturne⁴⁶.

En effet les comètes à la différence des planètes ne sont pas entourées d'un tourbillon. Reprenant une idée de Villemot (que nous verrons plus bas, dans le traitement de la pesanteur) Molières considère que les planètes, qui conservent un tourbillon affaibli, sont dans une situation d'équilibre entre leur pesanteur vers le Soleil (due à l'action du tourbillon solaire) et une force de répulsion due aux forces centrifuges des deux tourbillons qui se repoussent au niveau du « bas »⁴⁷ du tourbillon planétaire⁴⁸.

Pour Molières, les comètes n'ayant pas de tourbillon propre ne sont soumises qu'à leur pesanteur en $\frac{1}{r^2}$ vers le Soleil, d'où le mouvement parabolique, selon les travaux de Newton sur les forces centrales de ce type⁴⁹. Les corpuscules du tourbillon solaire (qui chez Molières sont des tourbillons microscopiques) ne pesant pas ne peuvent pas offrir de résistance sensible aux comètes solides. Les planètes, elles, ne sont pas en communication directe avec le tourbillon solaire, et ce sont leurs tourbillons propres qui sont en contact, et qui sont entraînés par le tourbillon solaire dans un mouvement de révolution autour du Soleil.

5. Quelques autres aspects de la théorie de Villemot

Comme annoncé, nous allons décrire quelques autres points importants de la théorie de Villemot, se trouvant dans les deux autres parties de l'ouvrage.

5.1 Explication du mouvement diurne par Villemot

Il s'agit du premier chapitre de la seconde partie. Villemot explique la rotation diurne de la Terre⁵⁰ par l'interaction de celle-ci avec le tourbillon solaire. On a vu que les couches successives de ce tourbillon sont animées d'une vitesse de révolution en $\frac{1}{\sqrt{R}}$, c'est-à-dire que plus on s'éloigne du Soleil, plus le fluide tourne lentement autour du Soleil.

⁴⁶ Molières, *Leçons*, t. IV, Leçon XV, Prop. VII, p. 45-59.

⁴⁷ C'est-à-dire au niveau de la partie du tourbillon planétaire la plus proche du Soleil. Nous allons voir à propos de la pesanteur que Villemot introduit un tourbillon entourant chaque planète, tourbillon immergé, avec sa planète, dans le bien plus grand tourbillon solaire.

⁴⁸ Molières, *Leçons*, t. IV, Leçon XV, Prop. IV, p. 22-27.

⁴⁹ Voir ici encore la Leçon XV, Prop. VII dans le quatrième tome des *Leçons* de Molières.

⁵⁰ C'est-à-dire le fait que la Terre tourne sur elle-même en 24 heures (ou, plus exactement en 23 heures 56 minutes car il faut se référer aux étoiles plutôt qu'au Soleil).

Or la Terre, bien qu'étant très petite devant R (distance de la Terre au Soleil), est suffisamment grande, avec ses 3000 lieues de diamètre, pour être poussée par des couches successives du tourbillon n'ayant pas la même vitesse. En gros la Terre va tourner à la vitesse de la couche du tourbillon solaire qui se trouve au niveau de son centre ; les couches du tourbillon un peu plus loin du Soleil que le centre de la Terre tourneront moins vite : il en résultera l'apparition d'un « vide » (ou plutôt une tendance à l'apparition d'un vide, puisque pour Villemot, le vide ne peut exister) en arrière de la Terre, au niveau de la partie de la surface de la Terre opposée au Soleil, ce vide étant représenté sur la figure entre les points C et H (Figure 3).

De la même façon, comme au niveau de la face diurne de la Terre (celle qui fait face au Soleil), la matière du tourbillon solaire avance plus vite que notre planète, il va tendre à se créer un vide en avant de la Terre, au niveau de la face diurne (entre les points B et D , Figure 3). Or, comme la nature ne peut accepter le vide, ces deux espaces vont être immédiatement remplis par la matière du tourbillon : par exemple le fluide qui percute la face diurne de la Terre, à son arrière, va remplir le vide qui tend à se former à l'arrière de la face nocturne.

De même le fluide percuté par l'avant de la face nocturne de la Terre va remplir le vide laissé à l'avant de la face diurne, d'où un mouvement du fluide autour de la Terre, dans le sens direct⁵¹ ; la Terre entraînée par cette rotation du fluide (ayant lieu pratiquement autour du centre de la Terre comme le montre Villemot) va tourner dans le même sens (qui est pour nous le sens direct).

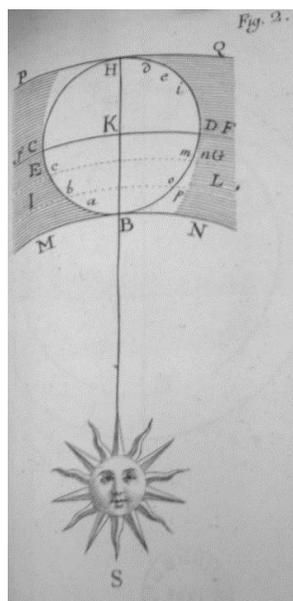


Fig. 3 :
Explication de la rotation diurne de la Terre qui se déplace ici de M vers N
Villemot, *Nouveau système* (Bibliothèque Municipale de Lyon, cote 342574)

L'académicien Philippe La Hire (1640-1718) a fait l'objection⁵² que la rotation différentielle⁵³ du tourbillon solaire devait en fait faire tourner la Terre sur elle-même dans le sens opposé à celui réellement observé : du côté du Soleil, le tourbillon, avançant plus vite que la Terre, devrait pousser la Terre dans ce sens. Au contraire, le tourbillon le plus élevé, allant moins vite que la

⁵¹ Le sens direct est le sens dans lequel les planètes tournent autour du Soleil. Vues depuis le pôle nord céleste il s'agit de révolutions dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Vu depuis la surface terrestre, il s'agit d'un mouvement d'ouest en est.

⁵² C'est Villemot qui, dans sa préface, attribue cette critique à La Hire. Elle est donc antérieure à la publication du livre ; dans cette même préface Villemot indique avoir procédé à des discussions sur ses idées au moins durant deux ans avant de publier son ouvrage. Dortous de Mairan, dans un mémoire où il donne sa propre théorie de la rotation diurne, reprend cette critique. Voir Dortous de Mairan, *Nouvelles Conjectures sur la Cause du Mouvement diurne de la Terre*. Dans ce texte Mairan écrit néanmoins du livre de Villemot qu'il est « d'ailleurs très digne d'éloge » (p. 42).

⁵³ C'est-à-dire le fait que la vitesse de rotation des couches du tourbillon dépend de leur distance au centre.

Terre, devrait entraîner la face nocturne de la Terre de telle manière que sa surface se déplace en sens contraire du mouvement de la Terre autour du Soleil. Le résultat de ces deux actions cohérentes est donc de faire tourner la Terre dans le sens indirect, donc dans le sens inverse du sens réel...

Il est en fait facile à Villemot de rétorquer, dans une addition à la fin de son livre, qu'il faudrait une différence de vitesse entre les différentes couches du tourbillon solaire en contact avec le globe terrestre, une différence de vitesse, donc, plusieurs centaines de fois supérieures à ce qu'elle est avec la loi des vitesses en $\frac{1}{\sqrt{R}}$. Et en fait cette action du tourbillon est utilisée par ailleurs par Villemot pour justifier le fait que l'axe des pôles de la Terre garde la même direction tout au long de l'année⁵⁴.

Là encore, sur ce thème du mouvement diurne, Joseph Privat de Molières suivra Villemot d'assez près, reprenant en fait précisément la même explication (*Leçons de Physique*, t. 4, Leçon XV). Il existe toutefois une différence qu'il importe de noter : Molières ne fait pas agir le tourbillon du Soleil directement sur le globe terrestre, mais sur le tourbillon qui entoure la Terre. Il explique que le tourbillon terrestre a plus de cohésion que le tourbillon solaire, ce qui fait qu'on peut le considérer comme solide, par rapport à l'action du tourbillon solaire, et que l'on peut donc reprendre exactement l'argumentation de Villemot qui était établie par rapport au globe solide de la Terre.

Ici encore, on peut voir que Molières cherche à corriger les ambiguïtés ou les incohérences de Villemot : en effet chez Villemot il y a interaction directe du tourbillon solaire sur la Terre pour expliquer le mouvement diurne, comme si la Terre n'avait pas son propre tourbillon ; tandis que pour expliquer le caractère excentrique des orbites planétaires (leur ellipticité en fait) Villemot fait intervenir des forces d'interaction entre le tourbillon terrestre et le tourbillon solaire : les deux explications peuvent sembler peu cohérentes, l'une vis-à-vis de l'autre.

Notons brièvement que l'explication de Villemot pour la rotation diurne de la Terre est censée être valable pour toutes les planètes ; plus une planète a un grand diamètre, plus le différentiel de vitesse des couches du tourbillon en contact avec elle est important, donc plus les « vides » sont importants : de la sorte, plus une planète est grande, plus son temps de rotation diurne doit tendre à être bref : ainsi Jupiter, par exemple, qui tourne sur lui-même en 10 heures seulement (*Nouveau Système*, p. 120-122).

D'autre part, Villemot essaie de justifier l'absence de rotation diurne de la Lune⁵⁵ : les différences de vitesse entre les deux couches interne et externe du tourbillon terrestre en contact avec la Lune sont proportionnellement beaucoup plus importantes que dans le cas de la Terre et des planètes, et il en résulte que, contrairement à ce qui se passe pour les planètes, la vitesse moyenne entre les deux extrêmes ne passe pas du tout par le centre de la Lune, mais dans le corps de la Lune, plus près de la Terre. Le centre de rotation du fluide autour de la Lune ne coïncidant pas avec le centre de la Lune, le fluide ne peut pas entraîner la Lune dans sa rotation (*Nouveau Système*, p. 122-126).

5.2 Explication de la pesanteur par Villemot

Pour Villemot il y a ce que l'on pourrait anachroniquement appeler un champ de pesanteur autour du Soleil, de chaque planète ainsi que des satellites comme la Lune. Cette pesanteur, entraînant la chute des corps pesants en direction du centre de ces astres résulte de l'action du tourbillon entourant ces derniers. La cause de ce phénomène, pour lui, doit se trouver au centre de ces astres, et, par analogie avec ce qui se passe dans le Soleil, cette cause ne peut être qu'un

⁵⁴ C'est le chapitre III de la seconde partie du *Nouveau Système*.

⁵⁵ En fait la Lune tourne sur elle-même dans une durée comparable à son temps de révolution autour de la Terre, mais Villemot, comme les anciens astronomes, considère que le fait que la Lune présente toujours la même face à la Terre comme une absence de rotation.

mouvement de type « bouillonnement ». On a vu, dans le cadre de l'explication du mouvement diurne, que la Terre, pour prendre son cas, se déplace à la même vitesse que la couche du tourbillon solaire qui se trouve à la même distance du Soleil que le centre de la Terre, tandis que les couches du tourbillon solaire qui se trouvent au niveau de la face diurne de la planète sont plus rapides, donc percutent la Terre par l'arrière, tandis que la Terre est plus rapide que les couches du tourbillon solaire qui sont au niveau de sa face nocturne, et donc notre planète percute ces couches du tourbillon. Or, selon Villemot, le corps de la Terre n'est pas plein, et de nombreux pores et interstices permettent à la matière du tourbillon, aussi bien celle qui percute la Terre, que celle qui est percutée par la Terre, de rentrer dans la planète et de s'écouler en direction de son centre, où les corpuscules du tourbillon venant de direction opposée se percutent violemment, ce qui déclenche la vive agitation correspondant au bouillonnement. Les particules sont donc éjectées violemment du centre de la Terre, jusque vers sa surface, où elles rencontrent le tourbillon de la Terre, qui les renvoie vers le centre, etc. Comme dans le cas du tourbillon solaire, ces chocs au niveau des couches inférieures du tourbillon terrestre exercent une pression centrifuge et radiale qui fait que les particules de ce tourbillon tendent à s'éloigner de la Terre et à repousser les corps grossiers situés à proximité de la planète vers le bas, dans la position où étaient auparavant les particules ascendantes du tourbillon⁵⁶. Puisque ce mouvement des particules du tourbillon est radial, de la même manière que la lumière s'échappant du Soleil, on comprend que la force de pesanteur soit en $\frac{1}{R^2}$, de la même manière que la diminution de l'intensité lumineuse en fonction de la distance à la source⁵⁷ (le Soleil, le cas échéant).

Avant de donner sa propre explication, Villemot critique l'explication de Descartes, qui a toutefois quelque rapport avec la sienne propre, puisque pour Descartes⁵⁸, il s'agit toujours d'une tendance ascendante de la matière du tourbillon qui tend à rejeter vers le bas, à son ancienne position, les « corps grossiers ». La principale différence est que chez Descartes, contrairement à ce qui se passe chez Villemot, le tourbillon terrestre, au niveau de la Terre, a un mouvement diurne bien plus rapide que la Terre, d'où une force centrifuge des particules du tourbillon plus élevée que celle des corps grossiers, et c'est cet excès de force centrifuge qui repousse ces corps vers le bas. Huygens avait montré qu'il fallait une rotation diurne du tourbillon dix-sept fois supérieure à celle de la Terre pour expliquer l'accélération de la pesanteur. D'autre part, comme Villemot le fait remarquer⁵⁹, l'explication cartésienne par les forces centrifuges aboutirait à une pesanteur dirigée non vers le centre de la Terre, mais vers l'axe de rotation diurne de la Terre, contrairement à ce qui se passe dans son explication par le bouillonnement.

Molières suivra très partiellement Villemot, en ce qu'il rejettera l'explication cartésienne par la force centrifuge, et l'idée que le tourbillon tourne bien plus vite autour du centre de la Terre que la surface terrestre et les corps tombants. Pour lui, comme pour Villemot, le tourbillon tourne autour du centre de la Terre à la même vitesse que les corps pesants qu'il entraîne dans sa rotation. En revanche, Molières ne fait pas appel à l'explication par le bouillonnement, mais utilise l'idée des « petits tourbillons » idée provenant de Malebranche, et qu'il a fortement développée dans son propre système (voir Introduction, partie 3). Il considère que les corps pesants sont constitués de particules « dures », tandis que la matière des tourbillons qui entourent notamment les planètes est constituée de tourbillons microscopiques : les particules du tourbillon d'une planète sont des petits tourbillons. Ce n'est pas par leur force centrifuge qui résulte de leur révolution autour de la planète, que les petits tourbillons vont tendre à s'écarter de la Terre plus que les corps pesants : puisque ces petits tourbillons tournent très vite sur eux-mêmes, ils

⁵⁶ L'explication de la pesanteur que donnera Malebranche dans son *Eclaircissement XVI* (Malebranche, *De la recherche de la vérité, Œuvres*, t. III) est assez proche de celle de Villemot.

⁵⁷ On sait que l'intensité lumineuse décroît en $\frac{1}{R^2}$, ce qui correspond au fait que les rayons lumineux sont émis dans toutes les directions à partir de la source, tous comme ici les particules éjectées.

⁵⁸ Pour l'explication de la pesanteur par Descartes, voir les *Principes*, Partie IV, art. 20-27.

⁵⁹ Comme Huygens l'avait déjà expliqué dans son *Traité de la lumière* qui contient un *Discours sur la cause de la pesanteur* (1690).

développent une force centrifuge⁶⁰ à leur périphérie. Ils vont donc s'écarter les uns les autres, et vont donc tendre à avoir une expansion les éloignant du centre de la Terre, d'où une nouvelle tendance centrifuge, que ne possède pas la matière des corps pesants. La suite de l'explication est la même que chez Descartes ou Villemot : les petits tourbillons tendent à s'élever et la matière pesante est repoussée vers le bas, vers l'ancienne position des petits tourbillons. Molières montre par ailleurs que l'on retrouve les lois de la chute des corps⁶¹.

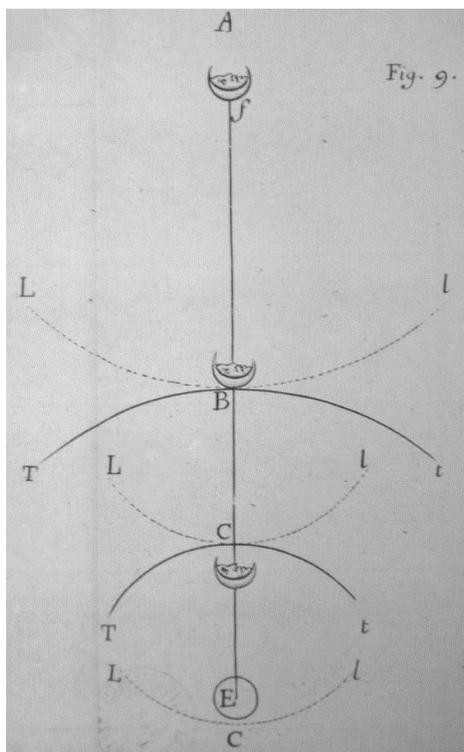


Fig. 4 :

Choc des tourbillons terrestre et lunaire.

Villemot, *Nouveau système* (Bibliothèque Municipale de Lyon, cote 342574)

Nous avons donc vu comment Villemot explique de la pesanteur causée par la Terre sur les corps graves qui l'entourent. Mais la Lune elle-même crée sa propre pesanteur, attirant les corps pesants qui lui seraient proches. Fondamentalement, la cause de cette pesanteur créée par la Lune est la même que dans le cas du Soleil et de la Terre : l'existence d'un bouillonnement au sein du corps de la Lune, ce bouillonnement créant une pression centrifuge (la tendance) sur le tourbillon environnant la Lune. Et bien sûr, ce tourbillon a lui-même le bouillonnement lunaire pour origine comme c'était le cas pour la Terre, avec le bouillonnement terrestre. Quant au bouillonnement lunaire, il a la même origine que le bouillonnement terrestre, à savoir la différence entre les vitesses des différentes couches du tourbillon terrestre en contact physique avec la Lune (*Nouveau Système*, p. 192-194).

Un autre point très important, que Villemot introduit lorsqu'il traite de la pesanteur de la Lune, mais qui s'applique aussi à toutes les planètes dont la Terre, est celui de l'équilibre de la Lune dans le tourbillon terrestre (que l'on retrouve aussi dans le cas de l'équilibre de la Terre dans le tourbillon solaire). Selon Villemot, donc, la Lune devrait tomber sur la Terre, comme la Terre devrait tomber sur le Soleil, puisque la Lune, plongée dans le tourbillon terrestre, subit l'effet de

⁶⁰ Autre que celle qui résulte de leur révolution autour de la planète.

⁶¹ La théorie de la pesanteur et de la chute des corps de Molières constitue la quatrième des *Leçons de physique* (tome I).

la tendance terrestre (due au bouillonnement de la Terre), tout comme la Terre subit l'effet de la tendance solaire.

Pour Villemot, qui n'accepte pas la théorie de Newton, il faut une autre force de contact pour contrer cette chute uniformément accélérée vers l'astre central, et maintenir la Terre et la Lune sur leurs orbites. Or la Lune et la Terre, tout en étant plongées dans le tourbillon de leur astre central, ont elles-mêmes leur propre tourbillon. Celui-ci tourne autour de son centre⁶² dans le même sens que le grand tourbillon dans lequel il est plongé : si on regarde ces deux tourbillons depuis le nord céleste⁶³, ils tournent dans le sens direct⁶⁴ (le sens inverse de celui des aiguilles d'une montre). Cela signifie que la partie inférieure⁶⁵ du petit tourbillon⁶⁶ tourne en sens contraire à celui de la partie du grand tourbillon⁶⁷ où elle est plongée, d'où un « choc » des deux tourbillons, avec le choc des particules de ces deux tourbillons (ceci a lieu au niveau des points *B* et *C* de la Figure 4, sur laquelle plusieurs positions de la Lune et de son tourbillon par rapport à la Terre sont présentées) qui s'opposent par leurs forces centrifuges respectives. Ce frottement entraîne selon Villemot l'existence d'une force qui tend à éloigner le petit tourbillon (et l'astre qui en est le centre) du centre du grand tourbillon. C'est l'équilibre entre la pesanteur et cette force centrifuge qui maintient la Terre ou la Lune sur leur orbite. Villemot entreprend en plus de montrer que l'équilibre est stable : en d'autres termes, si par une force quelconque on rapprochait la Lune de la Terre, la force centrifuge de répulsion entre les deux tourbillons augmenterait et la Lune retournerait à sa position (ou plutôt distance) d'équilibre, et vice versa si on l'éloignait.

Par exemple, si l'on prend le cas où la Lune est artificiellement rapprochée de la Terre, alors la partie « basse » du tourbillon lunaire heurterait des couches plus internes du tourbillon terrestre, donc des couches plus rapides, ce qui augmenterait la force de frottement ou friction entre les deux tourbillons. De plus, les deux tourbillons seraient « compressés », vu le moindre espacement entre la Terre et la Lune, et la matière de chacun devrait passer dans un espace moins important, d'où une augmentation de la vitesse de la matière de chaque tourbillon, ce qui entraînerait une nouvelle augmentation de la force de répulsion entre les deux tourbillons et donc une remontée du tourbillon lunaire à une plus forte distance de la Terre. D'ailleurs Villemot calcule que l'accroissement de la force « centrifuge » de répulsion des tourbillons est supérieure à l'accroissement de la pesanteur de la Lune due à son rapprochement par rapport à la Terre. On aurait le même retour à l'équilibre si l'on éloignait la Lune de la Terre.

Cette théorie de Villemot est une fois encore reprise par Privat de Molières qui explique de manière comparable le fait que les planètes restent sur leur orbite : pour lui aussi le tourbillon de la planète et le tourbillon solaire se repoussent mutuellement⁶⁸. Lui aussi estime que les deux tourbillons se repoussent par leurs forces centrifuges, qui tendent à éloigner le petit tourbillon planétaire vers l'extérieur du grand tourbillon solaire. La planète tourne donc à une distance du Soleil telle qu'il y a équilibre entre la force de pesanteur qui tend à la rapprocher du Soleil et la force répulsive centrifuge. C'est l'intensité la force centrifuge générée par les petits tourbillons des différentes planètes qui a décidé de la distance de ces planètes au Soleil, et donc de l'ordre dans lequel elles se présentent lorsqu'on s'éloigne du Soleil. Rappelons pour mémoire que pour Molières, comme pour Descartes, les planètes sont d'anciennes étoiles dont les tourbillons ont été très fortement érodés et affaiblis, avant d'être capturés dans le puissant tourbillon solaire.

6. Conclusion

⁶² Centre qui est le centre de la Lune (ou de la Terre, le cas échéant).

⁶³ C'est-à-dire, par exemple, depuis un point proche de l'étoile polaire.

⁶⁴ Remarquons que dans ses figures, Villemot place l'observateur vers le pôle céleste austral.

⁶⁵ C'est-à-dire la partie de ce tourbillon la plus proche du Soleil.

⁶⁶ Celui de la Lune si on considère la révolution de la Lune autour de la Terre, celui de la Terre si l'on considère la révolution de la Terre autour du Soleil.

⁶⁷ Respectivement celui de la Terre (pour la Lune) ou celui du Soleil (pour la Terre).

⁶⁸ Voir le tome IV des *Leçons de physique*, Leçon XV, Prop. IV.

Descartes avait, en particulier dans ses *Principes de la philosophie*, donné une explication du mouvement des planètes autour du Soleil ainsi que du mouvement de la Lune autour de la Terre. Cette description restait toutefois très générale et qualitative et Descartes n'a jamais cherché à développer plus précisément cette explication. Il en a été de même de ceux qui l'ont suivi au cours du demi-siècle suivant⁶⁹

Or Newton, dans son ouvrage de 1687, a édifié une nouvelle mécanique permettant non seulement de rendre compte des lois de Kepler décrivant le mouvement des planètes, mais aussi d'expliquer quantitativement nombre de particularités du mouvement complexe de la Lune, en considérant que la Lune, attirée par la Terre est également perturbée par l'attraction gravitationnelle solaire ; de la même façon, toujours avec la même notion de gravitation universelle, Newton fournit une nouvelle explication du phénomène des marées ainsi qu'une théorie précise du mouvement des comètes.

Il semble que Philippe Villemot, l'un des fondateurs de la première académie lyonnaise, soit l'un des premiers à percevoir le défi posé par le livre de Newton aux théories tourbillonnaires cartésiennes. Quoiqu'il en soit, son ouvrage de 1707⁷⁰ est le premier à chercher à développer la mécanique céleste tourbillonnaire de Descartes au-delà d'une simple description qualitative et sommaire des phénomènes. Quelques puissent être les insuffisances, y compris mathématiques de cette tentative, il s'agit du premier essai de réponse d'un partisan de la physique tourbillonnaire cartésienne au défi posé par la puissante mécanique céleste newtonienne. Ce sera loin d'être la dernière, puisque, durant au moins trente-cinq ans, de nombreux savants, surtout français⁷¹, allaient développer ces efforts avec la plus grande ingéniosité, tentant de répondre point par point au défi newtonien⁷². Villemot apparaît à tout le moins comme un des principaux initiateurs de ce long épisode. Plus encore, on peut considérer qu'il est le véritable fondateur de ce que l'on pourrait appeler une « astronomie cartésienne » ou « mécanique céleste cartésienne », qui sera ensuite développée par Cassini, Privat de Molières, Etienne Simon de Gamaches, sans compter Jean I et Daniel Bernoulli⁷³.

L'humble ecclésiastique lyonnais, et quelque ait pu être son niveau mathématique, paraît donc occuper une position tout à fait particulière dans le long conflit qui allait accompagner l'introduction des idées newtoniennes en France, mais aussi plus généralement en Europe continentale. Il inspirera directement des savants comme Malebranche et Privat de Molières, et aura toute l'estime de Fontenelle. Si son livre a été peu apprécié par d'autres savants contemporains comme Leibniz ou Jean (I) Bernoulli, D'Alembert, dans une section qu'il rédige de l'article « Cartésianisme » de l'*Encyclopédie*, écrira que

La nouvelle explication du mouvement des Planetes, par M. Villemot, curé de Lyon, imprimée à Paris en 1707, est le premier, & peut être le meilleur ouvrage qui ait été fait pour défendre les tourbillons⁷⁴.

Notons enfin que si Villemot apparaît un peu comme un « grand ancêtre », d'un point de vue chronologique, par rapport aux débats sur les physiques newtoniennes et cartésiennes à Lyon traités par ailleurs dans cet ouvrage, c'est peut-être aussi parce que le début du dix-huitième siècle nous reste assez obscur concernant les discussions qui ont pu avoir lieu à Lyon sur ce thème⁷⁵. L'influence de Villemot sur certains académiciens comme Marchand, Duclos et plus encore Rey est toutefois notable.

⁶⁹ Voir par exemple Rohault, *Traité de physique*.

⁷⁰ Soit 20 ans après la publication des *Principia* et une bonne cinquantaine d'années après la publication de la théorie de Descartes.

⁷¹ Mais aussi les éminents mathématiciens bâlois Jean (I) et Daniel Bernoulli.

⁷² Pour une description de ces nombreux travaux, voir Brunet, *L'introduction* et Aiton, *The Vortex Theory*.

⁷³ Voir Introduction, partie 2.

⁷⁴ « Cartésianisme », *Encyclopédie*, t. II, p. 725b.

⁷⁵ Rappelons que les débuts de l'ASBL ont été assez informels, et que des comptes rendus de séances ne sont apparus qu'à partir de 1714, soit postérieurement au décès de Villemot. D'autre part l'académie rivale, l'ABA, fondée en 1713, ne sera nettement orientée vers les sciences qu'à partir des années 1730. Voir Introduction, partie 1.

Chapitre III

Les quatre prix académiques remportés par Lozeran du Fesc

1. Introduction

Le père Louis Antoine Lozeran du Fesc (1697-1755)¹ est lauréat des prix de l'Académie Royale des Belles Lettres, Sciences et Arts de Bordeaux en 1726, 1733 et 1735, puis du prix de l'Académie royale des sciences de Paris de 1738. Ses mémoires portent sur la formation des éclairs et du tonnerre (1726), sur la nature de l'air (1733), sur la dureté, la fluidité et la mollesse de la matière (1735), enfin sur le feu et sa propagation (1738). Cette étude montre que Lozeran du Fesc développe des explications de types mécanistes qui s'appuient sur les petits tourbillons de matière subtile introduits par le père Malebranche, et qu'ainsi son œuvre s'inscrit dans la réforme du mécanisme de Descartes initié par ce philosophe. Bien que Lozeran se réfère à plusieurs reprises à *De la recherche de la vérité* de Malebranche et bien que certains de ses travaux soient cités par des savants influencés par le philosophe oratorien, Lozeran ne suit pas à la lettre les thèses de Malebranche pas plus que celles de ces savants, ses mémoires témoignant ainsi de la diversité des formes que revêt le mécanisme au XVIII^e siècle.

Nous donnerons, dans un premier temps, quelques éléments sur Lozeran du Fesc et ses rapports avec l'ABA. Puis, nous analyserons les théories développées dans chacun des prix sans suivre ici l'ordre chronologique des parutions. L'examen du mémoire de 1735 nous permettra de donner un cadre philosophique général aux travaux de Lozeran qui récuse le mécanisme de Descartes en s'appuyant sur Malebranche et en introduisant les petits tourbillons. La publication de 1733 complétera cette première lecture en apportant un autre argument en faveur du système des petits tourbillons. Nous poursuivrons par l'examen du prix de 1738 qui combine les acquis de deux précédents mémoires et terminerons par le texte de 1726 qui repose sur le mécanisme de formation du feu détaillé en 1738.

2. Lozeran du Fesc et l'Académie des beaux-arts

Dans l'Introduction de cet ouvrage nous avons signalé qu'il ne fallait pas dissocier les travaux des associés de l'Académie des beaux-arts de ceux des titulaires. Antoine Lozeran du Fesc est proposé par Jacques Mathon de la Cour comme membre associé², l'élection est décidée le 11 août 1738. Dans sa lettre de remerciement adressée à Mathon le 29 août, Lozeran écrit :

Comme la modestie fust toujours l'inseparable compagne du véritable mérite, je n'ay garde de juger de celluy ci par les réserves de celle là. je suis fort du gout de Mr Fontaine. Wolfius est un excellent auteur, quoyqu'il ne me paroisse pas également sur dans son second tome de l'édition de geneve [Wolff, *Elementa matheosos universae*]. comme il est tous Phisicomatematique, je n'en suis pas surpris. La Phisique n'a guere rien de bien assuré, et les Principes phisiques qu'il suit ne me paroissent pas en ce genre les moins incertains.

Je goute extremement le projet d'ouvrage dont vous me faites l'honneur de me parler³. vous êtes peut etre mieux en état d'y reüssir que l'academie de Paris. il seroit bien a souhaiter que dans les tems passez on eust fait de tems en tems de semblables ouvrages, il ne se seroit pas perdu tant de belles inventions des siecles passez. ceux des siecles à venir vous auront des obligations que nous voudrions avoir à ceux qui nous ont precedez. j'ay l'honneur d'etre ...

¹ Lozeran du Fesc est né à Marsanne, dans le Dauphiné, près de Montélimar le 7 janvier 1697. L'orthographe de son nom comporte de nombreuses fluctuations. Il entre dans la Compagnie de Jésus en tant que novice le 6 septembre 1705, il professe les humanités et la rhétorique à Béziers pendant 22 ans, où il se lie à Dortout de Mairan. Il enseigne ensuite les mathématiques à Perpignan. Il devient enfin préfet des études au collège de Tournon (au nord de Valence, sur le Rhône). Tournon qui fait partie de la province jésuite de Toulouse et non de Lyon. Lozeran meurt à Tournon le 17 août 1755. Une bibliographie de ses travaux figure dans Sommervogel, reprise et complétée dans Brun-Durand, *Dictionnaire biographique*.

² Lettre de Lozeran à Mathon, datée de Tournon, le 7 juillet 1738 (Ms 268-I, f. 79 et 82v).

³ Nous ne savons pas de quel projet il est fait ici référence.

Cette proximité avec le mathématicien Alexis Fontaine des Bertins (1704-1771), membre de l'Académie des sciences de Paris, a probablement en partie des origines géographiques, puisque celui-ci est né à Claveyson, un peu au nord-est de Valence.

L'Académie de Lyon conserve également une lettre intéressante du P. Lassale⁴, jésuite du collège de Tournon, adressée au P. Tolomas, le 17 août 1755, quelques mois après la mort de Lozeran, le 7 janvier 1755 à Tournon, dont voici quelques extraits :

... Tous les jesuites de Tournon savent que le P. Dufesc avoit des relations particulieres, et qu'il entretenoit un commerce de lettres avec deux des plus celebres academiciens de Paris. Mr De Mairan, disent-ils, qui l'avoit connu à Beziers pendant qu'il professoit la Philosophie, a toujours conservé pour luy une haute estime. Les sentimens de Mr Fontaine à l'égard de ce Pere ne sont point equivoques, il dit dans une lettre adressée à ses parens d'andancette, que les jesuites ont en luy un des plus grands genies qu'il y [180v] aye en france [...]

je voudrois bien que la prudence ou plutot la timidité du Pere Spy [?] m'eut permis de transcrire une lettre d'un jesuite espagnol adressée au P. Dufesc ou il veut l'engager de la part de Philippe 5e à composer des cayers de philosophie. Le P. Dufesc ne voulut jamais donner sa parole, il entreprit toutefois le travail et ses manuscrits sont deja prêts pour etre mis au jour[...]

Un malheur ravit à Paris un second prix qu'on avoit deja adjudé à une Discertation sur le flux et le reflux de la mer. Mr De Mairan son ami et secretaire alors de l'académie, apréz luy avoir assuré que tous les suffrages etoint reunis pour cette seule discertation, luy réécrivit huit jours apréz qu'on avoit reconnu son style, et que sous pretexte que les usages de l'academie ne permettoint pas de couronner les auteurs reconnus on venoit de rejeter son ouvrage [...]

On sçait que Mr Nollet a adopté le sentiment du Pere Dufesc sur la nature du feu, et combien il parle avantageusement de son auteur.

Il a visiblement existé une circulaire du recteur du collège de Tournon après la mort de Lozeran du Fesc, mais nous ne l'avons pas trouvée. Selon l'usage, le directeur de l'Académie des beaux-arts (qui a pris le nom de Société royale en 1748) prononce à la séance publique du 5 décembre 1755 un court éloge du membre associé décédé⁵.

Les travaux de Lozeran sont pris très au sérieux par l'académie, comme le montre l'impressionnante liste de lectures qui lui sont consacrées en deux ans au sein de la compagnie. Les 1^{er}, 8 et 22 juin 1740 Mathon de la Cour lit « la dissertation imprimée in 12 du P. Dufesc sur la nature et la cause du tonnerre » primée par l'Académie de Bordeaux en 1726 ; les 31 mai, 7 juin, 28 juin et 5 juillet 1741, Mathon de la Cour lit un « mémoire imprimé sur la nature de l'air, par le R. P. Lozeran du fesc qui a gagné le prix de l'academie de Bordeau en [un blanc] » [1733] ; les 22 novembre, 29 décembre 1741, 17 janvier, 7 février, 28 février, 25 avril, 16 mai, et 13 juin 1742, Mathon de la Cour lit « un mémoire imprimé du R.P. Lozeran Dufesc, sur la durezza, la mollesse & la fluidité des corps, qui a remporté le prix à l'académie de Bordeaux. » en 1735.

Ces mémoires lus à l'ABA sont examinés ci-dessous.

3. La durezza, la fluidité et la mollesse de la matière (1735)

La dissertation sur les causes de la durezza de la « mollesse » et de la fluidité des corps, qui vaut à Lozeran du Fesc d'être lauréat – avec Jean Pierre de Crousaz – du prix de l'académie de Bordeaux de 1735 s'ouvre sur la thèse que la matière en elle-même est « infiniment molle », autrement dit, que la moindre force suffit à en séparer les parties :

Dans l'explication que je dois donner de la Durezza des Corps, je dois poser pour fondement ou pour préliminaire, que les Corps considerés en eux-mêmes & avec tous leurs modes & proprietés 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

⁴ Ms 268-II, f. 180-181.

⁵ Ms 267-II, f. 276v. Le directeur est Soufflot, mais comme il est à cette date à Paris, c'est le directeur de l'année précédente, l'architecte Clapasson, qui le supplée.

auprès des autres, ou aucune véritable résistance 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 croient 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 vérité, ils en ont médité & approfondi les raisonnemens, sans y trouver assez de solidité pour se croire obligés 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.

Chez Malebranche, suite au rejet de ce qu'il qualifie le « faux principe » de Descartes à savoir la force que ce dernier attribue aux corps au repos, la cohésion de la matière ne s'explique plus par le simple repos de ses parties mais par la pression exercée par la matière subtile sur ses surfaces (voir Introduction 3.4 pour la réforme de Malebranche). Dans l'*Eclaircissement XVI* de *De la recherche de la vérité* de 1712, Malebranche fait dépendre cette pression des forces centrifuges des petits tourbillons qui environnent la matière. Par ailleurs, puisque compressibles, ces tourbillons expliquent aussi l'élasticité des corps. Enfin, ils justifient la fluidité d'un milieu lorsqu'ils tiennent séparées les unes des autres les parties solides dont il se compose⁷.

Les explications proposées par Lozeran s'appuient sur les petits tourbillons de matière subtile et sont redevables à celles de Malebranche : si d'après la précédente citation Lozeran n'estime « pas assez établis » ces tourbillons, il écrit aussi qu'il « embrasse » la thèse de Malebranche et l'enjeu de son mémoire consiste alors à asseoir davantage cette théorie⁸. Avant de rendre compte des différents états de la matière par le biais des petits tourbillons, Lozeran livre un long développement le conduisant à soutenir que la matière en elle-même est « infiniment molle » et à critiquer les « nouveaux philosophes » adeptes des « causes secondes », développement qui aboutit à une profession de foi occasionaliste.

3.1 La matière sans force et l'occasionalisme

Lozeran réfute le « sentiment de M^r. Descartes » concernant la force de repos : il écrit ne pas convenir avec les « Carthésiens » que « le repos leur [aux corps] donne une vraie résistance au mouvement, ou à perdre leur repos » et soutient « même très-évidemment que cette résistance est nulle »⁹. Mais il soutient aussi que « le mouvement ne donne aucune véritable résistance aux corps » lorsqu'ils sont choqués ni une véritable action contre ceux immobiles qu'ils percutent.

Tout d'abord, de par leur indifférence à être en mouvement et au repos, les corps ne prennent pas de manière privilégiée un de ces états et ne se déterminent pas à en prendre un (articles 1 et 2, p. 11-12). Ensuite, l'idée que nous avons des corps, à savoir comme selon Descartes une substance purement étendue, nous les représente « sans principe d'action au-dedans, pour se donner quelqu'un des états dont ils sont susceptibles » et « sans action au dehors pour donner à quelque sujet que ce soit ou l'être ou la manière d'être », cette « manière » étant un des « modes » dont le corps est susceptible par exemple le mouvement ou le repos. Par conséquent, il n'existe rien « dans un 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. 12). Cette idée des corps nous les représente aussi « incapables de recevoir une véritable force d'agir sur eux » (art. 4, p. 12-13)¹⁰. Ainsi, « parfaitement indifferens » aux états, dépourvus de « tout

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

⁷ Pour ces explications, Malebranche, *De la recherche*, dans *Œuvres*, t. III, p. 272, p. 273 et p. 275. Voir les analyses de Robinet, *Malebranche de l'académie des sciences*.

⁸ Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la dureté*, p. 8-9.

⁹ *Ibid.*, p. 7-9.

¹⁰ Par nature, les corps comme substances étendues 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

principe » et de « détermination », les corps sont parfaitement indifférents à garder ou à perdre l'état dans lequel ils se trouvent et « par conséquent 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 aussi « dépourvus 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, p. 14). 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. En effet, cette destruction n'étant que la cessation de leur être, ce corps ou cette modalité cessant nécessairement d'être dès 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, p. 14-15). 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 différens 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 mù, 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, p. 15-16).

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 qui s'approchent par des mouvements contraires et en « supposant l'impenetrabilité » 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, p. 16).

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 en 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, p. 17-18)¹¹. 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 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 étanger, sont infiniment mols, ou ne résistent point à la separation de leurs parties (p. 18-19).

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

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 ».

¹¹ 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 change d'état et perd son premier état « donc il ne résistoit pas à le perdre, puisqu'il l'a perdu au moindre obstacle qu'il a trouvé ».

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 (p. 19-20). 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 (p. 20) : 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 » (p. 21)¹².

Lozeran rejette ce « cahos de causes secondes & efficaces » de « Philosophes » qui « durant une longue suite de siècles » ont attribué aux corps une « véritable force » pour agir sur un corps au repos, pour se résister mutuellement, ou qui conçoivent une « véritable résistance » dans les corps au repos (p. 23-24). La critique de ces « Philosophes » anciens et scolastiques s'accompagne aussi d'une critique plus contemporaine : si des philosophes avec raison n'attribuent aucune activité au repos et au mouvement et aucune « véritable force » à ces états, « les nouveaux Philosophes » confèrent de la force et de la résistance au mouvement et même « un grand nombre » de la force pour résister aux corps au repos. Lozeran estime alors que

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, résistait à la destruction de ces modalités, & que la volonté productrice du mouvement d'un Corps quelconque, étoit la véritable cause du mouvement qui se trouve après le choc dans le Corps en repos choqué (p. 24-25).

Mais, comme Lozeran l'a montré, d'une part « les volontés de Dieu productrices des modalités 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 » (p. 25), les volontés liés aux états respectifs de ces corps étant indépendantes. Aussi,

quand nous dirons qu'un Corps en mouvement a de la force, nous n'entendrons pas par là qu'il a une véritable activité, qu'on ne reconnoit que dans les esprits, ni même que la volonté de Dieu productrice du mouvement de ce Corps résiste 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 différens, ou détermine Dieu à avoir des volontés différentes (p. 26)¹³.

Ce qui précède « renverse par les fondemens le sentiment des Cartesiens sur la Dureté » qui ne résulte pas d'une volonté divine. Par ailleurs « les nouveaux Philosophes » se voient critiqués en raison de cette résistance qu'ils attribuent 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. Cette dénonciation des « nouveaux Philosophes » n'est pas sans évoquer celle de Jean Pierre de Crousaz

¹² Ainsi, les « loix de la communication du mouvement » sont contingentes et non nécessaires, *ibid.*, p. 23.

¹³ 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 matière, qui fait la Dureté des Corps ». *Ibid.*, p. 27-28.

écrivait que « le goût de l'absurdité s'est emparé de quelques sçavans du premier ordre » les conduisant à conférer à la matière une force dénommée « vis inertiaë »¹⁴.

3.2 Les explications de la dureté, de la fluidité et de la « molesse »

Lozeran écrit qu'il « embrasse » le sentiment du père Malebranche et qu'il rend compte de la dureté par une « operation mécanique des petits tourbillons de la matiere étherée »¹⁵. D'après ce qui précède l'impossibilité de mettre en mouvement un corps au repos ne saurait provenir d'une force intrinsèque à ce corps pas plus que de la volonté positive de Dieu. 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 » (p. 36). Puisque les parties des corps résistent à la séparation « selon quelque détermination que ce soit », autrement dit selon toutes les directions, il faut que les « molecules » du fluide dans lesquels ils sont plongés aient des « déterminations quelconques »¹⁶. Le fluide n'est pas seulement une matière qui enveloppe la surface extérieure des corps, mais ce qui environne 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 » (p. 42). Ce fluide n'est pas un « fluide sensible » étant donné la nécessité de pénétrer tous les « vuides » des corps (p. 45-46). 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 » (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 de petits tourbillons ». Par ailleurs, pour introduire ces tourbillons, Lozeran s'appuie sur l'autorité du « P. Malebranche [qui] a pensé que les parties de la matiere étherée forment de petits tourbillons » (p. 68) ; il souligne aussi que

l'Auteur du Traité sur la Nature de l'Air, qui remporta le Prix de l'Academie en 1733 [autrement dit Lozeran du Fesc lui-même] l'a cru prouver dans la supposition même que les petites parties de cette matiere eussent d'abord reçu un mouvement en ligne droite selon toutes les determinations quelconques, faisant voir que ce mouvement en ligne droite n'a pas pu subsister, & qu'il a dû se changer en ligne courbe¹⁷.

Ces « parties » de l'éther « ne peuvent pas se mouvoir selon toutes les determinations quelconques, si elles ne forment pas de petits tourbillons » et « la Dureté des Corps durs est l'effet de la force centrifuge des petits tourbillons de la matiere étherée »¹⁸.

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 »¹⁹. La liquidité

¹⁴ Crousaz, *Essay sur le mouvement*, p. 168. Crousaz vise manifestement Leibniz mais la critique peut aussi cibler Newton et ses disciples ; le rejet du système de Leibniz est l'objet principal de Crousaz, *De l'esprit humain*. Sur ce refus par Malebranche de la force que Descartes attribue au repos qui conduit des savants à rejeter le concept d'inertie, voir C. Schmit, « Force d'inertie et causalité ».

¹⁵ Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la dureté*, p. 9.

¹⁶ *Ibid.*, p. 41. « 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 ».

¹⁷ *Ibid.*, p. 71. Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 37 : en supposant un mouvement en ligne droite de toutes les parties de l'air ou de tout autre liquide, « il me paroît évident qu'il n'a pas dû être long-temps en ligne droite ; car si ces parties ont eu ce mouvement en ligne droite, selon toutes les directions quelconques, il est visible qu'elles ont dû se choquer sans cesse les unes les autres ; il est visible que par ces chocs continuels, elles ont dû se détourner sans cesse les unes des autres de leurs premieres déterminations, & qu'ainsi elles ont été forcées de décrire des lignes courbes, ou de former par tout de petits tourbillons ».

¹⁸ Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la dureté*, p. 71.

¹⁹ Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 22.

« consiste dans un mouvement respectif des parties integrantes du corps liquide, suivant toutes les directions imaginables »²⁰. L'éther fait la liquidité de tous les liquides par sa conformation en petits tourbillons : en effet, la liquidité suppose une mobilité des « parties integrantes », autrement dit des parties solides des fluides, selon « toute sorte de déterminations », or elle « sera plus exactement selon toutes sortes de déterminations, que lorsque ces parties formeront par tout des petits tourbillons »²¹ ; par ailleurs, pour qu'une matière conserve cette liquidité, il faut que les mouvements internes perdurent et seuls les petits tourbillons assurent la conservation d'un mouvement²².

Les corps « mols » tiennent comme « le milieu » entre les durs et les fluides. Un corps dur perd sa dureté si ses « molécules » reçoivent un mouvement et un fluide perd sa fluidité si ses « molécules » ne forment pas de petits tourbillons. Le corps mol correspond alors à celui dont les parties sont en mouvement – sinon, il serait dur – mais non sous la forme de petits tourbillons – sinon, il serait fluide²³. Ce « mouvement des molécules des Corps mols, est un mouvement autour de leur axe, ou un mouvement de libration & de balancement, ou un mouvement qui participe de ceux-là »²⁴.

4. La nature l'air (1733)

4.1 Les critiques à l'encontre de Descartes et des « Cartésiens »

La structure que Descartes et les « Cartésiens » donnent de l'air se voit rejetée par l'académicien Joseph Privat de Molières, lequel adopte et développe la théorie des petits tourbillons de Malebranche notamment dans ses *Leçons de physique* publiée entre 1733 et 1739 (voir Introduction, 3.4). Les arguments de Molières figurent aussi chez Lozeran du Fesc ; la lecture des *Leçons* permet de contextualiser la *Dissertation* de Lozeran et la mise en lumière d'affinités intellectuelles.

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 dilatabilité²⁵. Molières estime qu'un ressort,

²⁰ *Ibid.*, p. 17. Voir Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la dureté*, p. 116 : « les petites parties ou molécules des autres fluides [que l'éther] quelconques sont dans un mouvement respectif selon toutes les déterminations ».

²¹ Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 37 et *Dissertation sur la dureté*, p. 126 : « les molécules d'un fluide ne peuvent avoir ce mouvement selon toutes les déterminations, que dans le cas, ou elles forment partout des petits tourbillons ou au moins, [...] les molécules des fluides ne peuvent avoir & conserver un mouvement selon toutes les déterminations, sans y former partout des petits tourbillons ». Ainsi « tout fluide est un amas de petits tourbillons contigus qui se contrebalancent avec des forces égales ».

²² Pour cette continuation du mouvement dans l'univers assurée par les petits tourbillons, voir Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 38 et *Dissertation sur la dureté*, p. 135-138 ; l'examen ci-dessous du mémoire sur la nature de l'air revient sur ce point.

²³ Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la dureté*, p. 153-155.

²⁴ *Ibid.*, p. 156-157.

²⁵ Molières, *Leçons*, t. II, p. 144. Pour cette première conception, Molières mentionne Descartes. Descartes, *Principes de la philosophie*, art. 46 p. 226 évoque les « parties [...] presque toutes fort molles & flexibles, ainsi que des petites plumes ou des bouts de cordes forts deliées » ; il s'agit aussi d' « un amas des parties du troisième element, qui sont si deliées & tellement destachées les unes des autres, qu'elles obeissent à tous les mouvemens de la matiere du Ciel qui est parmi 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 », *ibid.*, art. 45, p. 226. Les corpuscules du troisième élément se répartissent en trois espèces dont la première se compose de « figures fort empeschantes..., & dont les extremitez s'estendent diversement çà & là, ainsi que des branches d'arbres ou choses semblables » qui entrent dans la composition de l'air, *ibid.*, art. 33, p. 218. Propos similaires dans Rohault, *Traité de physique*, p. 149-150. Pour les propriétés de l'air, Molières évoque sa transparence, sa fluidité, la séparabilité de ses parties ; concernant sa pesanteur, dilatabilité, élasticité, compressibilité, sa raréfaction et sa condensation, il résume les expériences de Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical* ouvrage dans lequel figure dès les premières pages ces « petites lames contournées en limaçon ». Voir Molières, *Leçons*, t. II, p. 99-120. Par ailleurs, Molières critique la conception de l'air 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 », *ibid.*, p. 120. Voir Edme Mariotte, *De la nature de l'air*, p. 173 où l'air est comparé à du « cotton » pouvant développer ses « spires » qui s'appuyant les unes sur les autres « agissent en ressort ». Sur les expériences pneumatiques chez Boyle et Mariotte et leurs conceptions de la nature de l'air, voir notamment Anstey, « Le ressort de l'air », p. 379-403. Pour une analyse des expériences sur l'élasticité de l'air chez Boyle et plus généralement au XVIII^e siècle, voir Webster, « The discovery of Boyle's law ».

au cours du temps, s'épuise alors 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 »²⁶, s'avère impossible en remarquant que l'assemblage de « parties branchuës, diversement entrelacées » et « prodigieusement bandées » rend difficile qu'elles puissent se « détacher si facilement les unes des autres, se mouvoir en tous sens avec une extrême liberté »²⁷.

Ces deux arguments figurent dans la dissertation de 1733 de Lozeran. Ce dernier récuse que l'air soit composé de « petits herissons » animés en tous sens ou de « petites branches » ou de « lignes spirales » lesquelles ne peuvent pas au cours du temps conserver leur ressort : les formes données aux corpuscules ne peuvent pas se conserver à cause des frottements continuels, à cause des mouvements violents de l'atmosphère pouvant les briser ; en supposant ces formes, leurs enchevêtrements ne permet pas d'assurer sa « liquidité » à cet élément²⁸. Cette dissertation contient aussi cette référence aux expériences de Boyle rencontrée chez Molières attribuant au milieu des propriétés établies expérimentalement²⁹.

Selon Molières, Descartes ne bénéficiant pas des expériences de Boyle relatives notamment à la « pesanteur », à la « lubricité », et au « ressort » de l'air, il n'y a rien d'étonnant à ce qu'il se soit « contenté » d'une telle idée. Molières estime plus « étonnant » que d'autres ayant déterminés expérimentalement ces propriétés aient conféré aux parties de ce milieu la forme « de petites lames en limaçon » : c'est transporter aux parties ce qu'on constate pour le tout sans pour autant « indiquer » d'où provient l'élasticité des lames ; Molières demande l'explication du mécanisme justifiant cette élasticité des parties³⁰. 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 expliquer la cause physique³¹. Pour Molières, l'air correspond à un « amas de petits tourbillons », chacun d'eux ayant en son centre un corpuscule dur et entraînant autour de ce centre d'autres tourbillons plus petits sans corpuscules³². Ces petits tourbillons se « balançant librement » (p. 156) rendent compte de l'élasticité de l'air (p. 170)³³, de sa compressibilité et de sa dilatabilité (p. 173), et de sa « lubricité » car les forces de deux tourbillons s'équilibrant en un point de contact, elles « 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 aisément (p. 167). Malgré leur opacité, ces globules n'altèrent pas la transmission des rayons lumineux ni ne nuisent 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 dans le troisième élément (p. 168-170).

4.2 L'air selon Lozeran du Fesc

²⁶ Molières, *Leçons*, t. II, p. 102.

²⁷ *Ibid.*, p. 146-147.

²⁸ Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 7-28.

²⁹ *Ibid.*, p. 5.

³⁰ Molières, *Leçons*, t. II, p. 145.

³¹ Molières semble associer indifféremment les théories de Descartes et des « cartésiens » avec celles de Boyle, bien que leurs justifications de l'élasticité diffèrent, voir notamment Clericuzio, « The Mechanical Philosophy and the Spring of the Air ». Sur la distinction entre la philosophie mécanique et celle corpusculaire de Boyle, sur la construction de l'image de Boyle comme un philosophe mécaniste au XVIII^e siècle, voir Clericuzio, « A redefinition of Boyle's chemistry ». 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 Descartes, *Principes de la philosophie*, art. 132 p. 270-271 ; 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, *ibid.*, art. 46 et 47 p. 226-227.

³² Molières, *Leçons*, t. II, p. 165 et p. 167-168.

³³ L'air est composé de tourbillons de l'éther de plus petites tailles que les siens chacun possédant donc une plus grande force centrifuge : cette différence rend compte des différences d'élasticité entre les deux milieux et donc des différences des vitesses de propagation du son et de la lumière, *ibid.*, p. 171-173.

Si Lozeran rejoint Molières dans son rejet de la nature de l'air selon les « Cartésiens », il n'adopte pas pour autant le modèle que ce dernier propose. Lozeran 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 », le savant supposant ces particules « un peu longues & très polies »³⁴, « extrêmement petites » et dont les pores, « si elles en ont », sont « petits au-delà de tout ce qu'on peut imaginer » (p. 51-52). Ainsi, « chaque partie sensible d'Air [est] un amas de petits tourbillons » (p. 55), ceux-ci résultant directement de la conception de la matière subtile de Malebranche que Lozeran mentionne :

Le père Malebranche a prouvé par bien de fortes raisons, & on a applaudi assez généralement à son sentiment, que la matière étherée 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 (p. 35-36).

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).

La liquidité « consiste dans un mouvement des parties integrantes du corps liquide selon toute sorte de détermination » (p. 36). Or,

le mouvement respectif [des parties integrantes] 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 conséquent 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 & réitérés de ces parties, dans leurs rencontres mutuelles, doivent enfin y amener une sorte d'uniformité de mouvement, & ensuite le repos respectif (p. 38).

La liquidité implique mobilité, et la conservation du mouvement des « parties integrantes » de l'air ne peut se réaliser que grâce aux petits tourbillons « qui se contre-balançant avec des forces égales » et ne se « communiquent » pas de leurs forces qu'ils conservent. Ces « parties integrantes » ne peuvent se toucher que par « des surfaces infiniment petites » et ainsi, « il y a toujours beaucoup de matière étherée entr'elles, qui peut & doit toujours les entretenir en mouvement » (p. 51). 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 » (p. 39-41)³⁵.

Ces réflexions sur la fluidité et la nécessité de petits tourbillons se retrouvent chez de nombreux savants adoptant ces tourbillons : tous les fluides se composent de tourbillons car eux seuls assurent la permanence d'un mouvement ce justement en quoi consiste la fluidité. Comme l'écrit Le Corgne de Launay, élève de Molières,

il est certain que les moindres parties d'un fluide ne peuvent être en un mouvement continu & 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 Physiciens modernes, & prouvé par l'expérience, que les mouvements contraires se détruisent. Or il est évident que si les parties d'un fluide ne se meuvent pas

³⁴ Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 32-33. « Solide » doit se prendre dans le sens de dense.

³⁵ Cette conclusion 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 de six autres globules plus petits, & qu'ils tournent sur leur centre ».

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 mouvemens³⁶.

Aussi, les grands tourbillons que Descartes avaient introduits doivent être composés de petits tourbillons et non de parties solides comme ce dernier le concevait, lesquelles à force de se percuter devraient entraîner la cessation du mouvement dans l'univers³⁷. En somme, comme évoqué précédemment, les rejets de la force de repos que Descartes attribue à la matière et de ses règles du choc impliquent de repenser les éléments dont ce philosophe compose l'univers ; toute sa conception de la matière doit être repensée et notamment la nature de l'air.

Le milieu ainsi conçu par Lozeran permet de rendre compte de ses diverses propriétés. Ainsi de la « liquidité » grâce à l'agitation due à la matière subtile des parties intégrantes qui ont une texture particulière³⁸ ; la compression et dilatation s'expliquant par « le ressort » des petits tourbillons (p. 52-58)³⁹ ; la pesanteur (p. 58-61)⁴⁰.

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. Ainsi, Lozeran n'attribue pas une forme ronde aux « parties intégrantes » pas plus qu'il n'emboîte des tourbillons comme le fait Molières⁴¹. Enfin, ces « parties intégrantes » semblent localisées aux surfaces des petits tourbillons et non en leurs centres. Se retrouve la même référence à Boyle que chez Molières : Boyle fournit l'ensemble des propriétés expérimentales de l'air dont les petits tourbillons doivent rendre compte. Pour l'introduction de ces tourbillons, Lozeran s'appuie sur la réforme du mécanisme cartésien initiée par Malebranche, et leur raison d'être dans ce mémoire, outre la possibilité de fonder mécaniquement des propriétés expérimentales, repose aussi sur le fait qu'eux seuls assurent la permanence du mouvement dans l'univers.

5. La nature du feu et sa propagation (1738)

5.1 La nature du feu

Lozeran du Fesc partage le prix de 1738 de l'Académie royale des sciences sur la nature du feu et sa propagation avec Leonhard Euler et le Comte de Créquy. Dans l'article « Feu » de l'*Encyclopédie*, signé de D'Alembert, ce dernier rapporte que « les Philosophes sont partagés » sur sa nature : « le feu est-il une matière particulière ? ou n'est-ce que la matière des corps mis en

³⁶ Le Corgne de Launay, *Principes du Système*, p. 86-87.

³⁷ Voir aussi Mazière, *Traité des petits Tourbillons*, p. 36 : « il est nécessaire que les corpuscules de la matière 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 matière 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 ? » Molières remarque qu'en vertu des lois du choc, les trois éléments dont Descartes suppose que l'univers est composé doivent à force de percussions conduire au repos et que « 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 ». Molières, *Leçons*, t. I, p. 314-317, p. 164 et p. 320-321. Les mouvements « confus » et en « tous sens » sont pour Molières ceux des éléments de Descartes.

³⁸ Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, p. 50-51. L'air possède un plus grand degré de liquidité que tout autre fluide notamment grâce à la plus grande « solidité » de ses parties intégrantes – le fait qu'elles soient plus denses que d'autres parties des corps solides – qui fait qu'elles donnent moins de passages à l'éther dans leurs pores et reçoivent ainsi davantage d'impulsion et sont donc davantage mobiles.

³⁹ Pour ces phénomènes, « l'idée seule du tourbillon en est une [preuve] sans réplique ».

⁴⁰ Cette pesanteur « a la même cause que celle des autres corps » sans plus de détail. Cependant, il y a tout lieu de penser que les parties intégrantes justifient une différence de poids entre l'air et l'éther ; ce dernier composé uniquement de tourbillons ne pèse pas, tandis que les tourbillons chargés de corps solides pèsent. Parmi d'autres propriétés, Lozeran évoque notamment celle de propager le son qui se fait selon le modèle de fronts d'ondes utilisé pour la propagation de la lumière. *Ibid.*, p. 91-100.

⁴¹ Du moins, si Lozeran écrit qu'un tourbillon d'air en comprend d'autres, il ne développe pas davantage.

mouvement ? »⁴². L'article « Chaleur » évoque aussi ces questions et parmi les partisans de la première opinion, figurent notamment Musschenbroek, Louis Lémery, Homberg, s'Gravesande et Boerhaave⁴³. Pour sa part, le *Discours* de Lozeran s'ouvre 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 »⁴⁴. 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 » (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 mouvements », 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 s'identifie à « la matière subtile de Descartes, dont le Pere Malebranche me paroît avoir mieux expliqué le mouvement que tout autre, & dont, par cette raison, je suivrai le sentiment » (p. 27-28).

Pour autant, ce feu ne correspond pas seulement à la « forme » que prend la matière selon les thèses de Descartes et Malebranche⁴⁵. En effet, Lozeran l'assimile à « un mixte composé de sels, de soufres, d'air & de matière éthérée », et nomme « ces quatre substances *substances ignées* »⁴⁶. A lui seul, ce mélange ne produit pas du feu, encore faut-il que ses parties soient « désunies » (elles « ne tiennent point les unes aux autres ») et « intimement mêlées » (« dégagées de toutes substances étrangères qui [les] embarrasseroient ») (p. 31-32)⁴⁷. Sels, soufres et air à eux seuls ne produisent pas 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 » (p. 32).

Pour justifier ce mouvement en tourbillons, Lozeran rapporte que la fluidité des corps résulte du mouvement respectif des parties, conformément à ce qui a été remarqué plus haut dans l'examen du mémoire sur l'air. Il rapporte aussi que des « Auteurs » prétendent que ce mouvement assurant la fluidité « 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 » (p. 33-34). L'évocation de Malebranche dont il écrit suivre « le sentiment » suggère le type d'« Auteurs » auxquels Lozeran peut se référer⁴⁸. Par ailleurs, selon Lozeran la cohésion du feu est assurée par les tourbillons. En effet, « la vitesse si prodigieuse » et « inconcevable »⁴⁹ de ses parties feraient que dans l'hypothèse de mouvements en ligne droite

⁴² « Feu », *Encyclopédie*, t. VI (1756), p. 599b.

⁴³ « Chaleur » (article non signé), dans *Encyclopédie*, t. III (1753), p. 23b. Pour un panorama sur la question de la nature du feu, voir Joly, « La question de la nature du feu ».

⁴⁴ Lozeran de Fesc, *Discours sur la propagation du Feu*, p. 26-27.

⁴⁵ Pour ces savants le feu correspond à ce que D'Alembert évoque ci-dessus comme « la matière des corps mis en mouvement ». Voir Descartes, *Principes de la philosophie*, art. 80, p. 243 et Malebranche, *De la recherche*, *Œuvres*, t. III, p. 268-269.

⁴⁶ Lozeran de Fesc, *Discours sur la propagation du Feu*, p. 28-30. 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 dernières ne contribuant pas à 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 purgée d'air.

⁴⁷ Ainsi, bien que contenant ces substances, 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 ».

⁴⁸ Cette fluidité définie ici par l'agitation des « petites molécules du fluide, chacune autour de son propre centre, & plusieurs autour d'un centre commun » correspond par exemple à la structure que donne Molières à l'air comme rapporté plus haut.

⁴⁹ Lozeran de Fesc, *Discours sur la propagation du Feu*, p. 34 : « ces parties n'ont sans doute pas moins de vitesse que la lumière qu'elles répandent ».

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 leur résister (p. 34-35) : l'air contient d'autant plus ces flammes que la plus grande partie de leur vitesse est employée à la « révolution périodique autour de leur propre centre » et la moindre partie à leur révolution autour d'un centre commun, or, selon Lozeran, « elles n'agissent pour écarter l'air, que par leur effort en éloignement d'un centre commun » (p. 34-35)⁵⁰. L'air sert donc 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 qui devraient donc équilibrer à chaque instant ceux du feu, même si Lozeran 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 (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 nécessaire pour mouvoir les soufres & les sels », puis éther et 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 » (p. 43-44)⁵¹. 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 ces 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 » (p. 44-45).

5.2 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 (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 &

⁵⁰ 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 tourbillons observé dans les parties de la flamme lorsqu'elle s'est changée en fumée « prouve » que ces parties étaient animées d'un tel mouvement avant de devenir fumée. *Ibid.*, p. 37-38.

⁵¹ 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 sels alors que l'éther peut passer entre leurs pores. Ainsi s'explique ce fait expérimental de la nécessité de la présence de l'air pour le feu.

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 (p. 46)⁵². Les diverses proportions des « substances ignées » rendent compte des différences d'ardeur des feux⁵³ et justifient, avec d'autres facteurs, les différentes vitesses de propagation dans les mixtes⁵⁴. Lozeran considère alors « le Feu comme un véritable ferment, & la propagation du Feu comme une fermentation » (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 lû à l'Assemblée publique » et d'être publié⁵⁵.

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 (p. 3). Deux « corps » agissent sur cette pâte, la matière subtile et l'air, et seul le premier correspond à « la cause prochaine & immediate, ou efficiente » d'un tel changement (p. 3-4)⁵⁶. 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 » (p. 1) : il recherche alors la « cause materielle ou occasionnelle » qui « oblige » et « détermine » la matière subtile à agir sur une pâte de telle sorte que ses parties prennent cette « disposition » faisant d'elles un ferment (p. 15 et p. 6).

A ce vocabulaire malebranchien des causes occasionnelles 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 au chapitre de *De la recherche de la vérité* qui explique la dureté de la matière et à *l'Eclaircissement XVI* 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 (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 » (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 (p. 20). Qu'un levain ainsi préparé soit mélangé à une pâte, son action

⁵² Voir aussi p. 42-43.

⁵³ 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 « 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.

⁵⁴ 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 », son mouvement se voyant ensuite « gêné » par les « matières hétérogènes », *ibid.*, p. 48.

⁵⁵ Bouillet, *Dissertation sur la cause de la multiplication des ferments* (citation non paginée).

⁵⁶ 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.

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 » (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 de l'éther et donc d'une plus grande force centrifuge des tourbillons internes qui sont davantage animés, qui emportent alors des parties de matières et les réorganisent entre elles et qui, possédant plus de force, se dilatent, gonflent 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 de la théorie de Malebranche pour lequel

toute la Physique dépend de la connoissance de la matière subtile ; [...] 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 monde⁵⁷.

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 lequel « le ferment convertit les mixtes analogues en un ferment semblable »⁵⁸. L'éther anime les parties désunies des « mixtes analogues » aux ferments, elle les fait « bouillonner avec elle » ce qui les brise ; il leur donne une autre conformation ou, plutôt, il 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 » ; une « 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 émussoient le goût » (p. 41-42). 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 (p. 42).

L'explication de la propagation du feu s'ensuit. Les matières combustibles comme 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 roides, 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

⁵⁷ Malebranche, *De la recherche, Œuvres*, t. III, p. 302-303. Ainsi, un corps dans l'air tombe vers la terre car il ne contient pas autant de petits tourbillons d'éther qu'un pareil volume d'air, ce qui cause un déséquilibre. L'équilibre et rupture d'équilibre entre tourbillons est le schéma général explicatif des phénomènes dans les *Leçons* de Molières.

⁵⁸ Lozeran de Fesc, *Discours sur la propagation du Feu*, p. 41.

en couche, jusqu'à la dernière, toute la matière combustible se change successivement en feu, & se consume (p. 42-43)⁵⁹.

Ainsi, le feu requiert un mélange adéquat entre quatre substances, à la manière d'un mélange de réactifs chimiques nécessaires à une réaction. Par ce mélange de sels, soufres, éther et air, Lozeran s'éloigne des thèses cartésiennes ou malebranchiennes qui envisagent le feu comme une forme particulière que prend la matière et tend à lui conférer le statut de substance particulière⁶⁰. 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 de forces bien que le rôle de ce dernier demeure peu explicite dans son explication ; l'augmentation du « ressort » dans le feu fait que tout se « dissipe » et rompt l'équilibre avec l'air environnant. 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 »⁶¹ suggère que Lozeran s'appuie directement sur le mécanisme de fermentation – que Bouillet fait reposer clairement sur une différence de forces centrifuges de petits tourbillons – pour expliquer la propagation des flammes. Lozeran compose alors une théorie relevant de celle de Malebranche – l'usage des petits tourbillons et la rupture de leur équilibre – et de théories mécanistes comme celles de Louis Lémery et de Jean Pierre 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 sur d'autres corps, thèses qu'un savant tel que Molières critique⁶².

6. La formation des éclairs et du tonnerre (1726)

La dissertation de 1726 de Lozeran de Fesc sur la nature du tonnerre et des éclairs entre en résonance avec ses écrits relatifs à l'air et au feu, et Privat de Molières s'inspire de ce mémoire dans ses *Leçons*.

6.1 L'analogie avec la poudre

⁵⁹ 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.

⁶⁰ Voir 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 ».

⁶¹ Lozeran de Fesc, *Discours sur la propagation du Feu*, p. 41.

⁶² Ainsi, Louis Lémery 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. Voir Lémery, *Conjectures et réflexions*, p. 405-406. 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*, p. 6-8. Ce mémoire remporte le prix de l'Académie de Bordeaux de l'année 1729 sur la question de la nature et la propagation du feu. Molières critique l'attribution de formes particulières aux corpuscules afin d'expliquer les réactions chimiques, et ce quels que soient les réactifs chimiques : il ne leur attribue que la forme de globules sphériques situés aux centres ou transportés par des petits tourbillons et les réactions résultant de déséquilibres entre forces centrifuges. Ainsi, par exemple, il rejette l'usage des acides « pointus » et celui des alkalis en forme de « guaines », dont les emboîtements les uns dans les autres devraient expliquer l'échauffement et l'effervescence de réactions. Voir Molières, *Leçons*, t. III, p. 128-131.

Le texte 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 »⁶³. 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 soufres ne suffisent pas (p. 4-5). Comme pour l'explication du feu, Lozeran adjoint 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 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 (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 (p. 6-7). Il existe ainsi une « tendance à la dilatation » en activité constante (p. 9), sous forme de « petits ballons tout prêts à se débâter, & à se dilater avec violence au moment qu'on détruira la force qui bande leur ressort » (p. 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 [le nitre, le soufre etc.] 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 (p. 9).

Comme remarqué pour la théorie du feu, 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, fait « bouillonner » avec lui les sels et soufres désunis qui à leur tour « secoient & désunissent » les grains voisins suivant le même mécanisme que celui de la propagation du feu, et l'air dans et entre les grains n'étant ainsi plus retenu se « débâte » 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 » (p. 10).

6.2 L'explication du tonnerre

La composition de la « matière du tonnerre » est identique à celle nécessaire à l'inflammation ci-dessus exposée. Les « exhalaisons salines & sulphureuses » ainsi que les vapeurs s'élèvent du sol par la chaleur en un « mouvement *Tubinaire* ou de Tourbillon » et « il faut regarder & les

⁶³ Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la cause et la nature du tonnerre*, p. 3-4.

globules de vapeurs & les globules d'exhalaisons par tout repandus 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 » (p. 12). 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 matiere Salino-sulphureuse », autrement dit celle de la rupture d'équilibre entraînant l'éclair, comme le feu rompt l'équilibre au sein de la poudre (p. 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 mouvemens de ses petites parties sont genez & embarrassez ». 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 boüillonnement universel de toutes ces matieres 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 »⁶⁴. 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 souffres 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'entre-mêlent » et « la matiere etherée qui boüillonne 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 force 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 agit beaucoup plus les sels par le moyen de l'air, et les soufres par l'air et les sels qu'elle ne l'aurait fait en agissant toute seule. Ainsi, « le tournoïement ou le ressort » des petits tourbillons augmente et donc le ressort du grand tourbillon aussi : ce dernier se dilate au détriment des voisins qui possèdent moins de force, et afflue 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 boüillonnement de ses parties est devenu assez violent pour prévaloir aux

⁶⁴ Ces séparations et regroupements s'opèrent en vertu des différences entre les forces centrifuges des corps concernés soumis aux mouvements circulaires des grands tourbillons compris dans les nuages.

obstacles qu'elle trouve à sa prompte rarefaction, ainsi la matière du Tonnerre éclatera, lorsque des petits tourbillons seront devenus assez puissants pour rompre les obstacles » ; le grand tourbillon acquiert alors de la force grâce aux petits 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 sauroit éclater sans vaincre les uns & les autres puisqu'il butte contre tous ». Tandis que « le ressort » de ce tourbillon comprenant « la matière 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 tonnerre⁶⁵.

Privat de Molières invite à consulter « le R. P. Lozeran, de la Compagnie de Jésus, 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 »⁶⁶ ; il suit alors dans ses grandes lignes le mécanisme proposé par Lozeran.

7. Conclusion

Les nombreuses références à Malebranche, celles à des auteurs se réclamant de ce philosophe et la proximité de certaines de leurs explications avec celles de Lozeran, montrent que ce dernier inscrit sa pratique scientifique dans le cadre du mécanisme réformé de Malebranche. Lozeran s'appuie sur Malebranche pour révoquer la force de repos de Descartes et participe de ce mouvement scientifique qui repense le système des *Principes de la philosophie*. Les travaux sur la nature des éléments – le feu, l'air –, sur les états de la matière – dureté, etc. –, sur les météores – éclairs, tonnerre – montrent que les fluides se composent de petits tourbillons lesquels pallient les difficultés des explications de Descartes ou des « Cartésiens ». Lozeran les introduit en évoquant l'autorité de Malebranche ou d'autres savants, et il les justifie en tant qu'ils peuvent assurer de par leurs mouvements selon toutes les « déterminations » la cohésion de la matière et en tant qu'ils instaurent un mouvement durable. Les forces centrifuges des petits tourbillons et leurs ruptures d'équilibre ou leurs déséquilibres permettent d'expliquer des phénomènes naturels, en conformité avec la méthode de Malebranche mais aussi de savants tels que Privat de Molières. Lozeran considère les petits tourbillons comme la source des forces/mouvements nécessaires à une réaction chimique et ils participent en quelque sorte de la nature des réactifs. Dans ses *Leçons*, Privat de Molières critique ceux qui attribuent des figures particulières aux corpuscules afin d'expliquer des réactions, tandis que pour Lozeran elles s'avèrent indispensables, suivant en cela des pratiques d'autres savants recourant à des sels ou acides « roides », « fermes » ou encore « tranchans », afin d'agir sur d'autres corps. Ces différences exemplifient la diversité des courants et théories au sein du mécanisme, même si celui-ci se veut réformé et puise dans une source commune, à savoir *De la recherche de la vérité*.

⁶⁵ Pour toutes ces explications, voir Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la cause et la nature du tonnerre*, p. 20-31.

⁶⁶ Molières, *Leçons*, t. III, p. 324-325.

Chapitre IV

Un physicien tourbillonnaire à Lyon : Henri Marchand et la cause de l'inclinaison de l'orbite des planètes

1. Introduction

Marchand et les prix de l'Académie de Paris

Henri Marchand naît à Lyon en 1674 et meurt à Marseille en 1750. Entré dans l'ordre religieux de Picpus, il devient frère Grégoire, puis le Père Grégoire, nom sous lequel il est le plus connu. Il est académicien associé à l'Académie de Lyon à partir de 1736, en qualité de géomètre. Il s'est illustré par des travaux de cartographie. Il a ainsi assisté Claude Séraucourt pour le levé du plan de Lyon en 1735 et 1740. On lui attribue également la réalisation d'un globe céleste et d'un globe terrestre, achevés par Bonaventure, et qui ornaient la bibliothèque de l'Académie. Un seul de ces globes subsisterait aujourd'hui à la Bibliothèque municipale de Lyon¹.

Parmi les mémoires du père Grégoire conservés dans les archives de l'Académie de Lyon², un texte a retenu notre attention. Dans un ouvrage classique sur l'histoire des théories cartésiennes du mouvement des planètes, l'historien des sciences Eric Aiton avait déjà repéré ce manuscrit, classé sous la cote Ms 207 parmi un ensemble intitulé « Mémoires sur les planètes » et regroupant notamment de nombreux mémoires astronomiques du Père Béraud³. Aiton avait identifié ce mémoire comme ayant participé à une question mise au concours par l'Académie royale des sciences de Paris, et il l'attribuait alors à un autre membre de l'Académie de Lyon, Jean-Baptiste Duclos. Or, en examinant de nouveau ce mémoire, Fabrice Ferlin a constaté que l'écriture ne correspondait pas à celle des autres écrits de Duclos. Lorsque Pierre Crépel a repris l'inventaire des différents mémoires conservés dans les archives dont il avait la charge en tant que bibliothécaire, il a attiré notre attention sur la très grande proximité de l'écriture de cette dissertation avec celle d'autres mémoires rédigés par le père Grégoire. Le doute n'était plus permis, d'autant que le texte faisait référence à un mémoire antérieur dont Grégoire est précisément l'auteur.

À travers le prix Rouillé de Meslay, l'Académie royale des sciences de Paris récompense en alternance depuis 1719 des travaux dans le domaine de la navigation d'une part, dans celui de l'astronomie d'autre part. L'évolution de l'intitulé des questions sur la période 1720-1750 reflète le basculement du cartésianisme au newtonianisme. Jusque dans les années 1730, on interroge sur la cause physique des phénomènes célestes, préoccupation typiquement cartésienne. Le sujet posé pour l'année 1732 illustre ainsi parfaitement une orientation mécaniste : « Quelle est la cause physique de l'inclinaison des plans des orbites des planètes par rapport au plan de l'équateur de la révolution du Soleil autour de son axe, et d'où vient que les inclinaisons de ces orbites sont différentes entre elles ? ». À partir des années 1740, on pose de façon récurrente le problème dit « des trois corps », sur le cas de la Lune, des satellites de Jupiter, des influences entre Jupiter et Saturne, problème qui s'inscrit typiquement dans le cadre la théorie de l'attraction newtonienne⁴.

On sait que Marchand a concouru pour le prix de 1732 grâce à la devise portée sur son mémoire, mémoire soumis anonymement comme le veut le règlement du concours, et dont la

¹ Saint-Pierre (dir.), *Dictionnaire historique des académiciens de Lyon 1700-2016*.

² Outre des mémoires astronomiques sur le mouvement des planètes, Marchand a principalement laissé des contributions sur le jaugeage des tonneaux.

³ Aiton, *The Vortex Theory*, p. 221-224. L'ouvrage trouve son origine dans une thèse soutenue à Londres en 1958. L'autre étude classique et pionnière sur ces contributions cartésiennes du début du XVIII^e siècle est celle de Brunet, *L'introduction des théories de Newton*.

⁴ À titre d'exemple, le prix proposé en 1748 porte sur la question suivante : « Une Théorie de Saturne et de Jupiter par laquelle on puisse expliquer Les inégalités que ces deux Planètes paroissent se causer mutuellement principalement vers le temps de leur Conjonction ».

devise permettait d'identifier son auteur une fois le jugement rendu⁵. Jusqu'à cette date, il ne semble pas que l'inclinaison de l'orbite des planètes ait fait l'objet de recherches approfondies quant à leur cause physique⁶. La question a d'ailleurs dû être prorogée jusqu'en 1734 afin de susciter davantage de contributions de qualité. Même s'il n'a pas obtenu le prix, attribué *ex-aequo* à Jean (I) Bernoulli⁷ et à son fils Daniel Bernoulli⁸, le mémoire de Marchand figure parmi la liste des devises des mémoires ayant obtenu l'*accessit*, aux côtés notamment de Pierre Bouguer⁹, pas encore parti avec la célèbre expédition destinée à trancher la question de la « Figure de la Terre », et destinée donc à départager les partisans de Newton et de Descartes qui s'opposent sur cette question¹⁰ (voir Introduction, partie 2). Au début de son mémoire, Marchand indique qu'il va reprendre un certain nombre d'éléments déjà consignés dans un mémoire précédent, lui aussi soumis au jugement de l'Académie à l'occasion d'une question sur la cause de la variation des aphélie et des périhélie des planètes autour du Soleil, question posée pour le prix de 1730. Cette contribution avait elle aussi obtenu un *accessit*¹¹, preuve que les recherches de Marchand sont parmi les plus appréciées.

Le manuscrit

Le manuscrit conservé à Lyon est un brouillon sans doute très avancé par rapport au mémoire envoyé à Paris¹². Constitué d'une vingtaine de folios recto-verso, il comporte de très nombreuses ratures et renvois. Dans les citations que nous donnerons, nous respecterons l'orthographe de Marchand, mais nous adapterons la ponctuation pour des raisons de compréhension. Le mémoire est en deux parties. La première comporte 30 articles numérotés, la seconde 40. Cette division correspond au découpage de la question en deux membres : d'une part « la cause physique de l'inclinaison des plans des orbites des planètes par rapport au plan de l'équateur de la révolution du soleil autour de son axe », d'autre part « d'où vient que les inclinaisons des plans des orbites des planètes par rapport au plan de l'équateur de la révolution du soleil autour de son axe sont différentes entr'elles ».

Le contenu du texte rédigé par Marchand n'est accompagné d'aucune figure. On pourrait se demander cependant si l'auteur ne travaillait pas lui-même avec des figures pour construire ses raisonnements, car un effort de visualisation est requis en permanence de la part du lecteur pour en comprendre clairement les résultats et les démonstrations. Rappelons que Marchand a travaillé à la construction de globes, évoquée au tout début de cet article, et qu'au regard des mémoires astronomiques qu'il a par ailleurs rédigés sa familiarité avec les représentations associées à la

⁵ « *Inclinavit celos, et descendit : et caligo sub pedibus ejus* » : Il inclina les cieux et descendit, une sombre nuée sous ses pieds (Ancien Testament, Psaume 17 ; traduction : Bible Osty, 1960, p. 1181).

⁶ On doit cependant excepter Villemot, *Nouveau Système*, seconde partie, chap. V, p. 148-150. Les partisans de l'attraction newtonienne quant à eux attribuent à une intervention divine la révolution des planètes dans le même sens et presque dans le même plan. Il semble que la première solution newtonienne de ce problème ait été l'hypothèse de la nébuleuse primitive donnée par Laplace, qui évacue les agents surnaturels en démontrant la stabilité du système solaire.

⁷ Jean (I) Bernoulli, *Essai d'une nouvelle physique céleste*, PARS 1734 (1738). Sur ce mémoire, très riche, voir Aiton, *The Vortex Theory*, p. 228-235, et Brunet, *L'introduction des théories de Newton*, pp. 272-293. Bernoulli y déduit en particulier la forme de la loi newtonienne dans le cadre d'une explication cartésienne.

⁸ Daniel Bernoulli, *Disquisitiones Physico-Astronomicae problematis ab inclita Scientiarum Academia Regia*, PARS 1734 (1738).

⁹ Bouguer, *Entretiens sur la cause de l'inclinaison des orbites des planètes* (1734). Pour une analyse de ce mémoire, écrit dès 1731, voir Aiton, *The Vortex Theory*, p. 224-228, et Brunet, *L'introduction des théories de Newton*, p. 265-272.

¹⁰ Signalons que dans ce mémoire imprimé en 1734 Bouguer défend lui aussi une explication cartésienne, mais que bien plus tard, lorsqu'il le republiera en 1748, il lui adjointra un bilan sans concession des « insuffisances du mécanisme » (entendez du programme cartésien) pour rendre compte des mouvements célestes (Bouguer, *Entretiens sur la cause de l'inclinaison des orbites des planètes*, 1748). C'est cette seconde édition enrichie qui a été reprise dans le *Recueil des pièces qui ont remporté les prix de l'académie*, t. III. Sur l'importance de ce mémoire dans l'abandon du « cartésianisme », voir Fauque, « Tourbillons ou attractions, Les physiciens du XVIII^e siècle entre un monde plein et un monde vide ».

¹¹ Nous n'avons pas pu retrouver ce mémoire, ni pu identifier la devise exacte utilisée par Marchand parmi les cinq qui sont citées dans l'avertissement mis en tête du mémoire primé de Jean (I) Bernoulli sur ce même sujet (*Nouvelles pensées sur le système de M. Descartes*, PARS 1730 (1732), t. II).

¹² Autant que nous puissions en juger, nous avons reconstitué un mémoire complet dont la structure et le contenu forment un ensemble cohérent.

trigonométrie sphérique est patente. Il est donc tout à fait possible que pour un lecteur averti l'effort de visualisation n'ait pas été rédhibitoire¹³. Signalons en outre dans le mémoire la présence très ponctuelle de calculs mathématiques, qui reposent pour l'essentiel sur la théorie des proportions (aux articles 9 et 10 dans la première partie, aux articles 49 et 50 dans la seconde partie). L'absence d'expressions formelles ou quantitatives explicites des conditions d'équilibre sur lesquelles Marchand raisonne est palliée par une argumentation souvent très prolixe et pleine de circonvolutions.

Deux autres difficultés se présentent pour interpréter correctement les idées du mémoire de Marchand. La première tient au vocabulaire employé, dont il n'est pas toujours facile de distinguer un usage idiosyncratique d'un sens plus largement partagé par les contemporains. Un second handicap résulte du caractère relativement implicite des principes mécaniques dont Marchand fait usage. Même si le nom de Descartes est cité au tout début du mémoire, il ne renvoie à aucun auteur précis lorsqu'il développe son explication, pas même à Philippe Villemot son maître¹⁴.

Nous proposons dans ce chapitre de résumer les principaux résultats du mémoire de Marchand et de les situer assez sommairement au regard des explications déjà développées par Villemot, mais aussi par Privat de Molières¹⁵.

2. La cause physique de l'inclinaison des orbites

2.1 L'équilibre des couches du tourbillon solaire

Marchand inscrit l'explication de l'inclinaison des orbites des planètes dans le cadre général de la théorie des tourbillons. Il postule donc l'existence d'un « grand tourbillon » centré sur le Soleil dont les parties fluides suivent un mouvement circulaire, résultat d'une réflexion « continuellement répétée » sur une « continuité d'obstacles ». De tels obstacles sont constitués par les parties du même fluide qui sont exactement supérieures à celles que l'on vient de considérer. Il faut donc voir le tourbillon solaire comme un ensemble de « couches spheriques de mesme epaisseur toutes renfermées les unes dans les autres et contigues les unes aux autres » (art. 8). Pour assurer la stabilité de cette structure en pelures d'oignon, Marchand avance le principe d'équilibre suivant entre deux couches contiguës : les « forces avec lesquelles ces deux surfaces, dont l'une est supposée obstacle à l'autre, tendent à s'éloigner du centre » sont égales. Précisons que l'égalité entre forces centrifuges ici invoquée s'applique à ce que Marchand appelle la « force totale centrifuge » d'une couche, c'est-à-dire au produit de « la force centrifuge d'un de ses points » par la surface de cette couche¹⁶.

Marchand établit ensuite une équivalence entre le principe d'équilibre précédent et une loi des vitesses pour les particules de chaque couche :

¹³ Lorsqu'il évoque vers la fin de son mémoire une propriété géométrique assez élémentaire des grands cercles d'une sphère, Marchand écrit ainsi : « on ne croit pas avoir besoin de raisonnement ny de figure pour le demontrer » (art. 62).

¹⁴ Marchand cite cependant (Jacques) Cassini pour ses travaux sur les taches solaires et renvoie aux tables astronomiques de La Hire.

¹⁵ Nous renvoyons à l'Introduction et au chapitre II du présent ouvrage pour l'importance de ces deux personnages dans l'histoire du cartésianisme au début du XVIII^e siècle. Rappelons que D'Alembert écrit à propos du *Nouveau système*, publié en 1707 par Villemot, qu'il s'agit du « premier, & peut-être [du] meilleur ouvrage qui ait été fait pour défendre les tourbillons » (« Cartésianisme », *Encyclopédie*, II, p. 725b). Les *Leçons de physique* dans lesquelles Privat de Molières développe son explication ne sont publiées qu'à partir de 1733, mais il soumet ses premiers mémoires sur les tourbillons à l'Académie dès 1728 (*Loix générales du mouvement dans le tourbillon sphérique*, HARS 1728 (1730), p. 245-267) et 1729 (*Probleme physico-mathématique, dont la solution tend à servir de Réponse à une des Objections de M. Newton*, HARS 1729 (1731), p.235-244).

¹⁶ Marchand formule ainsi son principe d'équilibre dans le cadre de la théorie des forces centrifuges, dont il rappelle l'expression mathématique en ces termes : « il est reconnu par les sçavants que les forces centrifuges des mobiles circulants sont comme les quarrés de leurs vitesses réelles divisées par les diametres de leurs circulations respectives » (art. 9).

il faut que la vitesse réelle de chaque particule egale de fluide dans la couche inferieure soit a la vitesse réelle de chaque particule egale aux susdites dans la couche superieure reciproquement comme les racines des diametres de ces couches (art. 9).

De fait, la force centrifuge d'une « particule » étant inversement proportionnelle à la distance au centre de son mouvement et directement proportionnelle au carré de sa vitesse, si cette dernière vitesse est elle-même inversement proportionnelle à la racine carrée de la distance au centre du mouvement, alors la force centrifuge de la particule devient inversement proportionnelle au carré de la distance. Or, comme Marchand prend en considération la « force totale centrifuge » de chaque couche (la force centrifuge d'une particule multipliée par la surface de la couche, surface qui est directement proportionnelle au carré de la distance au centre), les deux proportions, inverse et directe, se compensent et on retrouve bien l'égalité entre les forces centrifuges globales développées par chaque couche. Marchand s'inscrit ici en parfaite continuité avec la théorie de l'équilibre des couches initialement développée par Philippe Villemot dans son livre de 1707 sur le mouvement des planètes et reprise ultérieurement par Malebranche, puis développée par Privat de Molières dans son mémoire académique de 1728¹⁷.

Marchand accorde un caractère fondamental à cette loi des vitesses qu'il accrédite par la « fameuse observation de Kepler » selon laquelle « les quarrés des temps employés par les planettes qui tournent autour d'un mesme centre a decrire des arcs semblables sont comme les cubes de leurs distances du centre commun » (art. 10). En effet, un simple calcul de proportion permet là encore d'établir que, puisque la vitesse s'exprime comme le rapport de la circonférence ($2\pi R$) à la période (T), l'expression de la « fameuse observation de Kepler » (T^2 proportionnelle à R^3) équivaut à une vitesse inversement proportionnelle à la racine carrée de la distance¹⁸. Ici encore, tout ceci se trouve déjà chez Villemot, Malebranche ou Privat de Molières.

Au final, en cohérence avec la troisième loi de Kepler et avec son principe d'égalité de répartition de la force centrifuge dans chaque couche du fluide, Marchand fixe ainsi la valeur des vitesses de circulation des différentes couches du fluide dans une proportion telle que la force centrifuge de chaque particule du fluide suive une loi en $1/r^2$. Dans cette explication, tout se passe comme si la force centrifuge d'une particule du fluide était intégralement restituée lors d'une réflexion, engendrant par conséquent l'équivalent d'une action centripète¹⁹ en $1/r^2$. Marchand ne détaille pas plus avant le mécanisme de la réflexion, pas plus qu'il ne cherche à trouver une cause à ce rapport des vitesses.

2.2 Les positions des planètes dans le tourbillon solaire

Ce principe d'équilibre des particules du tourbillon solaire ne s'applique cependant pas directement aux planètes. Chaque planète est en effet elle-même le centre d'un petit tourbillon qui, pris dans sa globalité, doit être considéré comme un corps au repos. N'étant animé d'aucune vitesse d'ensemble au sein du grand tourbillon²⁰, il ne développe aucune force centrifuge et se trouve alors, par « défaut d'égalité des forces centrifuges entre luy et les parties du fluide » (art. 11), repoussé vers le centre du grand tourbillon²¹. Les petits tourbillons et les planètes qu'elles

¹⁷ Voir le chapitre II.

¹⁸ Marchand précise que l'invocation de la troisième loi de Kepler comme preuve se fonde sur « la supposition tres vraysemblable que les planettes qui tournent autour d'un certain centre [sont] emportées par un fluide qui tourne autour de ce mesme centre et avec mesme vitesse que luy » (art. 10).

¹⁹ Molières aussi montre que l'on obtient une force en $1/r^2$. Voir Molières, *Loix générales du mouvement dans le tourbillon sphérique*, HARS 1728 (1730).

²⁰ « Chaque petit tourbillon doit être considéré quant a sa masse totale comme un corps qui n'a point de vitesse commune qui la determine a aller dans le sens du fluide du grand tourbillon » (art. 12).

²¹ Plus loin, Marchand écrit : « la descente des graves consiste en ce que le mobile le plus centrifuge prend la place d'un moins centrifuge qui se trouvoit plus éloigné du centre que luy, et [en ce] que le moins centrifuge se substitue à la place du plus centrifuge qui l'a déplacé » (art. 20). Dans son *Traité de la lumière. Avec un Discours sur la Cause de la pesanteur* (1690), Huygens explique de la même manière la chute des corps à la surface de la Terre et calcule la vitesse du fluide céleste en rotation autour de la Terre capable d'engendrer la force centrifuge requise pour l'accélération de la pesanteur.

hébergent vont cependant s'arrêter dans une couche du grand tourbillon. Pour l'expliquer, Marchand invoque un nouveau principe d'équilibre entre deux forces centrifuges, celle développée par les particules du grand tourbillon d'une part, et celle développée par les particules de la surface externe du petit tourbillon en rotation sur lui-même d'autre part. Les planètes se fixent dans la couche où ces forces centrifuges respectives se compensent exactement²². Marchand énonce la condition d'équilibre qui en découle : « la vitesse réelle de chaque point de fluide [du grand tourbillon] sera à la racine du diamètre de la couche comme la vitesse de chaque point de fluide de la surface du petit tourbillon est à la racine de son diamètre » (art. 14)²³. Les paramètres qui déterminent la localisation d'une planète dans le grand tourbillon solaire sont donc la taille du petit tourbillon planétaire et la vitesse de la couche externe de celui-ci.

À taille égale, on s'attend donc à ce que les petits tourbillons planétaires aient une vitesse de rotation d'autant plus grande qu'ils sont proches du centre du grand tourbillon. En effet, d'après la condition d'équilibre des couches énoncée plus haut, on a vu que la force centrifuge des parties du fluide est en $1/r^2$, si bien que les planètes les plus proches du Soleil doivent être celles dont les petits tourbillons tournent les plus vite sur eux-mêmes. C'est ce que semble indiquer la progression des vitesses de rotation propre de Vénus (23h), de la Terre (23h56') et de Mars (24h40')²⁴. Marchand fait cependant remarquer qu'il ne faut pas en tirer une conclusion générale, puisque Jupiter fait exception à cette règle apparente avec une vitesse de rotation propre « beaucoup plus grande que celle de toutes les autres planètes principales » (que Marchand ne précise pas, mais que l'on sait être d'environ 9h). En outre, cette vitesse ne doit pas être considérée comme synchrone avec celle du fluide du petit tourbillon. Dans le cas de Jupiter, le calcul montre ainsi que la surface de la planète tourne avec la même vitesse que celle d'un satellite qui se trouverait à une distance double de son centre (rappelons qu'un satellite, et le fluide qui l'environne, obéissent à la troisième loi de Kepler). La vitesse de rotation de la Terre correspond quant à elle à celle d'un satellite situé à 9 fois son rayon. Pour le Soleil, cette proportion atteint 34. Autrement dit, le corps placé au centre d'un tourbillon tourne sur lui-même avec une vitesse toujours moindre que celle de son tourbillon. Comment expliquer alors l'éloignement de la planète Jupiter dont la vitesse de rotation propre, et donc *a fortiori* celle de son petit tourbillon, plus élevées que celles de Mars, de la Terre, ou même de Vénus, devraient la rapprocher d'autant du Soleil ?

Pour contrebalancer cet effet, Marchand joue sur la taille des petits tourbillons planétaires, l'autre paramètre qui règle la force centrifuge de leur surface externe. La planète Jupiter posséderait ainsi un tourbillon plus étendu que les autres planètes, si bien que sa force centrifuge serait d'autant plus faible, et sa position d'équilibre d'autant plus éloignée du centre du grand tourbillon solaire. La grande extension du tourbillon associé à Jupiter serait même la raison pour laquelle il existe une distance plus importante entre les orbites de Mars, de Jupiter et de Saturne, en comparaison de celles qui séparent Mercure, Vénus, la Terre et Mars. Incidemment, Marchand cite la série de données suivante « en supposant la distance moyenne de la terre au soleil de 10 000 parties » (art. 15) :

Saturne-Jupiter = plus de 43 000 parties	Terre-Mars = environ 5 000 parties
Mars-Jupiter = plus de 37 000 parties	Terre-Vénus = moins de 3 000 parties
Vénus-Mercure = 3 000 parties ²⁵ .	

²² Cette idée d'un équilibre du petit tourbillon de la planète dans le grand tourbillon solaire, avec une opposition des forces centrifuges, est issue de Villemot (*Nouveau Système*, troisième partie, chap. II et IV), qui s'en sert surtout pour expliquer le fait que les planètes ne restent pas à une distance égale du Soleil le long de leurs orbites. On la retrouvera chez Privat de Molières en 1739 dans le troisième tome de ses *Leçons de Physique* (Leçon XV, prop. IV) qui s'en servira lui aussi pour expliquer la distance des planètes au Soleil.

²³ Cette condition découle immédiatement de l'expression mathématique de la force centrifuge.

²⁴ La première de ces valeurs, établie à partir des observations de Jean-Dominique Cassini, fait débat à l'époque.

²⁵ Il est d'usage à l'époque de ramener ainsi les valeurs d'une quantité à une proportion commune, celle de 10 000 étant celle couramment utilisée dans les tables des sinus, tangentes et logarithmes, dont les plus célèbres sont sans doute celles d'Adriaan Vlacq aux très nombreuses éditions sous le titre : *Tabulae sinuum, tangentium et secantium, et logarithmi sinuum, tangentium, & numerorum*

2.3 Les orbites planétaires

Une fois fixée la distance d'équilibre d'un petit tourbillon planétaire dans une couche du grand tourbillon solaire, Marchand s'intéresse ensuite à l'orbite effective de la planète, tributaire de la direction de l'effet centripète qui l'a amenée jusque dans cette couche. Il envisage deux centres de pesanteur possibles, l'un placé au centre du grand tourbillon, l'autre sur son axe. Il énumère en outre trois cas possibles de trajectoire : une orbite selon l'équateur du grand tourbillon, ou bien selon un parallèle de celui-ci, ou enfin selon un grand cercle de la sphère.

La terminologie employée ici, qui relève de l'astronomie sphérique, évoque la figure des globes terrestre et céleste (on se rappelle que Marchand a participé à la construction de ce type de globes). Le grand tourbillon solaire se présente dès lors à l'imagination du lecteur sous l'aspect d'un globe de fluide céleste pourvu d'un axe de rotation (et donc de deux pôles) et découpé en tranches parallèles à son équateur (mais que l'on peut aussi strier d'une infinité de grands cercles). Cette représentation donne ainsi à voir les mouvements possibles des particules du fluide céleste qui vont « déterminer », selon le vocabulaire employé par Marchand, c'est-à-dire diriger, les trajectoires des petits tourbillons planétaires.

Selon Marchand, la disposition sphérique des couches du grand tourbillon solaire est la seule compatible avec les conditions d'équilibre énoncées plus haut, notamment celle qui exige, comme on l'a vu, que « les surfaces [des couches] soient entr'elles comme les quarrés des diametres des circulations » (art. 17). De ce fait, Marchand exclut une forme cylindrique pour le tourbillon, figure pour laquelle le rapport des surfaces est fonction du simple diamètre. Si bien que l'ultime couche sphérique du grand tourbillon, aux confins du système solaire, doit être contenue par un obstacle lui-même de forme sphérique²⁶. Cette surface concave sphérique, « qui cause la reflexion de chaque particule de fluide de la surface du tourbillon » (art. 18), agit donc sur la dernière couche selon une direction perpendiculaire à sa surface, c'est-à-dire centripète. Le même raisonnement s'applique de proche en proche à toute la succession des couches concentriques du grand tourbillon. Or, toute réflexion se fait en outre dans un plan perpendiculaire à la surface réfléchissante²⁷, si bien que l'effet centripète résultant s'exerce dans des plans qui passent par le centre du grand tourbillon, c'est-à-dire encore dans les plans qui contiennent les grands cercles de la sphère.

Cependant, Marchand suggère que la trajectoire réelle des particules du fluide du grand tourbillon ne s'inscrit pas dans le plan d'un grand cercle et, en cohérence avec l'image du tourbillon sphérique qu'il a adoptée, que « l'empêchement qu'il [le fluide] peut trouver à suivre ce plan par les fluides voisin l'oblige à continuer sa revolution sur le plan d'un des paralleles à l'équateur » (art. 21). Il n'en reste pas moins que l'effet centripète joue à plein sur les petits tourbillons : « ce seul effort, quoy que arrete dans sa course par l'obstacle voisin, a toujours son effet des que l'obstacle luy cede ». Autrement dit, Marchand estime que les particules du fluide céleste du grand tourbillon se font obstacle et s'accommodent d'une circulation selon des plans parallèles à l'équateur, tandis que les petits tourbillons cèdent quant à eux sous l'effort du fluide et suivent une orbite selon le plan d'un grand cercle. Les plans ainsi définis contiennent

ab unitate ad 10000 : cum methodo facillima, illarum ope, resolvendi omnia triangula rectilinea & spherica, & plurimas questiones astronomicas (on sait par ailleurs que Marchand était très familier de ce type de tables). Parmi les ouvrages d'astronomie de l'époque, Marchand a pu emprunter les estimations ci-dessus à David Gregory, qui les fournit dans son *Astronomia Physica et Geometrica Elementa* publiés en 1726 à Genève. En effet, si l'on suit Marchand, les distances relatives des planètes au Soleil sont donc, partant de Mercure jusqu'à Saturne : 4 000, 7 000, 10 000, 15 000, 52 000, 95 000. Avec les seuls chiffres significatifs, Gregory donne les mêmes proportions approchées : « *nempe quarum partium distantia Telluris à Sole est 10, harum Mercurii distantia est fere 4, Veneris 7, Martis 15, Jovis 52, & Saturni 95* » (p. 2).

²⁶ Cette surface extérieure sur laquelle s'appuie sur le tourbillon est pour la forme semblable à une coquille. Quant à sa nature physique, Marchand précise : « il peut y avoir un éloignement si grand de ce centre ou la force centrifuge soit reduite a si peu de chose, qu'elle n'ait besoin d'autre obstacle que d'un fluide en repos pour nagir sur luy que par reflexion » (art. 15).

²⁷ Il s'agit d'une contrainte géométrique associée à la loi de Snell-Descartes.

donc d'une part la trajectoire des constituants du fluide céleste et d'autre part la trajectoire des planètes.

Par ailleurs, les parallèles et les pôles du grand tourbillon vont constituer les éléments géométriques du repère dans lequel Marchand va décomposer l'action des particules de fluide céleste sur les planètes selon une composante « circulaire » (horizontale) et selon une composante « polaire » (verticale)²⁸. Dès le début de son mémoire, Marchand annonçait d'ailleurs une telle décomposition selon ces deux « déterminations » (directions) en précisant l'objectif de sa démonstration en ces termes :

on a en vüe d'établir dans la suite de cette dissertation que la détermination du mouvement des planettes autour du soleil est composée de la circulaire de l'équateur du grand tourbillon, ou de ses parallèles, et d'une autre détermination que j'appelleray polaire, par laquelle elles sont chassées suivant la direction d'un pole a l'autre jusques a certaine distance de l'équateur, d'ou elles sont renvoyées à l'équateur et au delà vers l'autre pole jusques à pareille distance, d'ou elles sont renvoyées à l'équateur par pareille cause à celle qui les y avoit renvoyées du côté de l'autre pôle, et ainsy perpétuellement par forme de vibrations (verso fol. 10).

Marchand décrit ainsi le parcours d'une planète sur un grand cercle comme une « forme de vibrations » (une oscillation) entre deux positions extrêmes, au-dessus et au-dessous du plan de l'équateur du grand tourbillon solaire, comme si la planète se trouvait confinée entre deux parallèles situés symétriquement de part et d'autre de cet équateur. Ce confinement est mesuré par l'inclinaison de l'orbite planétaire, dont la cause est précisément l'objet du concours de l'Académie des sciences. Pour l'expliquer, Marchand invoque comme on l'a déjà dit l'action des particules du fluide céleste qui « font, par les réflexions qui les constituent circulantes [dans les plans parallèles], effort continuels vers cet equateur sur des plans qui le coupent en deux parties égales »²⁹ (art. 23).

Le résultat de « l'effort continuels que font toutes les parties du fluide par leur vitesse réelle [...] pour decrire un des grands cercles du tourbillon » se traduit donc pour le petit tourbillon par une action « luy imprimant une determination composée de la circulaire sur un parallele a l'equateur et d'une espece de vibration tirant contre le pole qui est de l'autre côté de l'equateur » (art. 24). Si l'on suit Marchand, dans le cas de figure où le grand cercle se confond avec l'équateur, cet « effort continuels » se réduit à la seule composante circulaire, car alors les particules du fluide céleste qui circulent dans le plan équatorial ne rencontrent aucune des particules qui circulent selon des parallèles dans les parties supérieures et inférieures du tourbillon. À la limite, la configuration idéale devrait donc être celle dans laquelle chaque petit tourbillon planétaire adopterait une orbite située dans le plan équatorial du grand tourbillon solaire, la « tendance de vitesse » des parties du fluide céleste s'y réduisant en effet à une pure « détermination circulaire ». À l'inverse, toute autre trajectoire selon un grand cercle se heurte aux parallèles de fluide céleste et subit alors une action perpendiculaire à ceux-ci, une « détermination polaire »³⁰, d'autant plus grande que l'inclinaison sur l'équateur est importante.

Dans ce schéma d'explication, l'oscillation de la planète entre deux parallèles, symétriques de part et d'autre de l'équateur, trouve alors son origine dans la composante « polaire » de l'effort imprimé par le fluide céleste : nulle à l'équateur, elle croît avec la latitude (inférieure ou supérieure) du parallèle. Marchand décrit les variations périodiques de cette composante « polaire » (et du mouvement afférent du petit tourbillon) dans les termes suivants :

²⁸ Plus loin dans le texte du brouillon de ce mémoire, on trouve aussi les désignations suivantes : « parallèle » et « perpendiculaire ».

²⁹ Il existe bien entendu une infinité de tels plans d'égale inclinaison, définissant autant de couples de nœuds qui marquent l'intersection entre l'orbite de la planète et l'équateur de référence (et qui coupent cet équateur en deux parties égales).

³⁰ Plus loin, Marchand introduit le néologisme « polifuge » pour spécifier que la planète est comme chassée des pôles du tourbillon.

ainsy sur l'equateur, et aux environs d'iceluy, rien ne s'oppose a ce que le petit tourbillon, poussé par l'effort plus grand des parties de fluide plus éloignées de l'equateur, ne franchisse la route sur l'equateur et ne continue au dela a suivre la determination qu'il a reçue, et que j'ai appelée polaire au commencement de cet ouvrage, jusques a ce qu'il trouve a quelque distance de l'equateur un effort de fluide tendant a l'equateur egal a celuy qui de l'autre côté l'avoit dirigé a ce mesme equateur (art. 26).

et quand le petit tourbillon est arrivé par ceste determination polaire a une declinaison de l'equateur [latitude] assez grande pour y trouver un fluide dont l'effort de la vitesse apres la reflexion se dirige moins parallelement au plan de lequateur, alors cet effort peut empecher le petit tourbillon de suivre plus avant sa determination polaire, et le repousser contre l'autre pole ; et cest ce qui luy fait recommencer une vibration opposée a la precedente (art. 27).

Marchand clôt la première partie de son mémoire, destinée à rendre compte de la cause de l'inclinaison de l'orbite des planètes (et avant de passer à la cause de l'inégalité de leurs inclinaisons), par une remarque corollaire sur la rétrogradation des nœuds des satellites. De fait, les explications précédentes peuvent être transposées à la « vibration » des satellites autour du plan équatorial des planètes, à ceci près qu'à la « détermination polaire » imprimée par les particules du fluide céleste interne au petit tourbillon peut s'ajouter l'action des particules du fluide céleste du grand tourbillon, action qui s'exerce, comme on l'a vu, dans le plan du grand cercle orbital. Or, Marchand se place dans la situation où l'axe de la planète est incliné sur le plan de son orbite, si bien que « la direction de la force centrifuge du fluide [du grand tourbillon] qui l'entraîne [...] coupe son equateur, au lieu que cette direction seroit parallele a cet equateur si son axe luy etoit perpendiculaire » (art. 29). L'« effort » des particules du fluide du grand tourbillon « accelere » alors le mouvement d'oscillation des satellites :

deux vibrations [polaires] sont plus tôt achevées qu'une revolution [circulaire] autour du centre du tourbillon [planétaire] entrainant, et en ce cas le tourbillon [satellitaire] entrainé coupe pour la seconde fois l'equateur de l'entraînant avant que d'avoir fait son tour periodique selon ce mesme equateur (*Ibid.*)

La rétrogradation des nœuds de la Lune s'expliquerait de cette manière par l'inclinaison de l'axe du globe terrestre sur l'écliptique.

3. L'inégalité des inclinaisons des orbites des planètes

3.1 La cause de l'inclinaison

La seconde partie du mémoire, qui s'étend des articles 31 à 70, traite de l'origine de la différence d'inclinaison des orbites planétaires.

L'article 31 précise tout d'abord le mécanisme qui explique le fait que les particules du fluide du grand tourbillon circulent dans des parallèles à l'équateur de ce grand tourbillon et non dans des grands cercles inclinés par rapport à l'équateur. Pour Marchand on a un processus en deux étapes : une première réflexion se fait dans un plan contenant le centre du grand tourbillon, donc dans le plan d'un grand cercle, mais elle est suivie d'un second choc contre les particules du parallèle exactement voisin, la particule réfléchie une seconde fois se déplaçant désormais dans un plan parallèle à l'équateur.

Si on applique les lois de la réflexion (égalité des angles de réflexion et d'incidence, réflexion dans un plan contenant la direction perpendiculaire à la surface concave de la couche tourbillonnaire supérieure), une première réflexion doit en effet se faire, les couches étant sphériques, dans le plan d'un grand cercle. Les particules du plan parallèle immédiatement inférieur font alors obstacle à cette réflexion et le choc qui en résulte éloigne de nouveau la particule de l'équateur pour la faire retourner et donc la maintenir dans le plan parallèle au plan équatorial où elle se mouvait avant la première réflexion. Les particules du fluide céleste percutent ainsi continuellement les particules de la couche immédiatement supérieure, puis celles du parallèle

inférieur, selon un mouvement saccadé évoquant, selon Marchand, les dents d'un engrenage (art. 31).

Comme annoncé dans la première partie du mémoire, c'est la première réflexion qui va agir sur le petit tourbillon d'une planète et le pousser dans la direction de l'équateur, action correspondant à ce qu'il appelle une force « polifuge »³¹. Or Marchand décompose cette action³² selon deux directions, l'une parallèle au plan de l'équateur du grand tourbillon, l'autre perpendiculaire à ce plan. Cette seconde composante qui agit sur le petit tourbillon pour le rapprocher de l'équateur constitue donc la force polifuge, elle est d'autant plus importante que la planète circule sur un parallèle éloigné de l'équateur³³. En effet, les plans des grands cercles dans lesquels se font les réflexions premières sont d'autant plus inclinés par rapport au plan de l'équateur ou à ceux des parallèles que la latitude est élevée (les forces polifuges sont égales, mais de sens contraires, pour deux latitudes opposées). A l'équateur la force polifuge est bien sûr nulle, puisque les réflexions premières se feraient alors sur le plan équatorial lui-même. Marchand ajoute (art. 37) que tout cela vaut pour une même couche sphérique du tourbillon (dans des couches de différents diamètres, à latitude égale, les forces polifuges sont proportionnelles aux vitesses des corpuscules de la couche³⁴).

Marchand cherche alors (art. 38 et suivants) à expliquer ce qui arrête le mouvement de « vibration » en latitude des différentes planètes par rapport au plan de l'équateur s'arrêtent à des latitudes données³⁵.

Il invoque une raison analogue à celle qui détermine la distance à laquelle une planète tourne autour du Soleil, à savoir l'équilibre entre la force centrifuge de la couche externe du petit tourbillon et la force centrifuge de la couche du grand tourbillon³⁶. Dans le cas présent, la latitude extrême du petit tourbillon planétaire est atteinte lorsque la force centrifuge de la couche externe du petit tourbillon est contrebalancée par la force polifuge. Marchand explique que la force polifuge à proximité des pôles du grand tourbillon est très supérieure à la force centrifuge de la couche externe du petit tourbillon, tandis qu'à l'équateur, là où la force polifuge est nulle, la force centrifuge de la couche externe du petit tourbillon l'emporte. Par conséquent il existe une latitude intermédiaire où les deux forces se compensent exactement (art. 41), et c'est donc à cette latitude que se fixe l'extrémité de la vibration en latitude du petit tourbillon (art. 42).

3.2 Les différentes inclinaisons

Plusieurs raisons peuvent faire que les latitudes extrêmes des différentes planètes ne sont pas les mêmes. Ainsi, à distance égale du Soleil, deux petits tourbillons planétaires n'ayant pas le même diamètre n'atteindront pas la même latitude extrême, et ce bien que leurs bords respectifs touchent quant à eux la même latitude extrême : plus le diamètre du petit tourbillon sera important, moins la planète en son centre s'écartera de l'équateur céleste. Si les deux petits tourbillons ne sont pas à la même distance du Soleil, il suffit que leur diamètre ne soit pas exactement proportionnel à cette distance pour avoir le même résultat.

Une autre cause possible pour l'inégalité d'inclinaison réside dans les forces centrifuges de la couche externe des deux petits tourbillons qui peuvent différer à taille égale, si bien que leur

³¹ C'est-à-dire une force qui éloigne le petit tourbillon du pôle du grand tourbillon. Ce n'est qu'à l'article 37 que Marchand introduit cette dénomination.

³² Action que nous pourrions aujourd'hui représenter par un vecteur ayant le sens et la direction de mouvement de la particule après la réflexion première

³³ C'est-à-dire à une latitude élevée si on fait l'analogie avec un globe terrestre. Marchand n'emploie pas ce terme de latitude.

³⁴ C'est-à-dire inversement proportionnelles à la racine carrée de la distance au Soleil, à cause de l'équilibre des couches, et conformément à la troisième loi de Kepler.

³⁵ En d'autres termes pourquoi les différentes orbites sont diversement inclinées par rapport au plan de l'équateur du grand tourbillon.

³⁶ Autrement dit, là où la couche du grand tourbillon est en contact avec le côté du petit tourbillon qui fait face au Soleil, les deux forces centrifuges sont égales et opposées.

latitude d'équilibre n'est pas la même. Les deux causes peuvent bien sûr se combiner. Marchand examine alors si ces deux causes sont compatibles avec son explication.

L'absence de proportion entre la taille des petits tourbillons planétaires et leur distance au centre du grand tourbillon solaire ne nuit en rien à l'équilibre général entre couches. En outre, la distance d'un petit tourbillon au Soleil n'a rien à voir avec sa taille mais, comme on l'a vu, tient à l'égalité entre la force centrifuge de la couche externe du petit tourbillon et la force centrifuge de la couche du grand tourbillon en contact avec la surface du petit tourbillon³⁷. Pour une même latitude extrême, et à distance égale du Soleil, on peut donc avoir différents diamètres de petit tourbillon, du moment que les vitesses externes ne sont pas les mêmes (art. 46).

Cela reste encore vrai à différentes distances du Soleil, alors même que les forces centrifuges des couches externes des deux petits tourbillons qui oscillent à la même latitude sont dans un rapport différent avec les forces polifuges qu'ils subissent³⁸.

Marchand en conclut que la seconde question du prix est résolue : les orbites des différentes planètes peuvent avoir différentes inclinaisons par rapport à l'équateur du grand tourbillon. Par ailleurs, pour des petits tourbillons de plus en plus éloignés du Soleil, la force centrifuge de leur surface externe décroît plus vite avec la distance au Soleil que les forces polifuges qu'ils subissent : il en résulte que plus une planète est loin du Soleil, moins son orbite doit être inclinée par rapport au plan de l'équateur du grand tourbillon, du moins si on ne fait intervenir que la seule force centrifuge dans cet équilibre. La taille des petits tourbillons³⁹ peut évidemment perturber cette progression.

Contrairement aux résultats présentés dans la première moitié du mémoire, l'explication des différences d'inclinaison développée par Marchand semble totalement originale et ne doit rien, en particulier, à la théorie de Villemot. Ce dernier considère quant à lui une combinaison entre le mouvement de rotation propre des tourbillons planétaires et le mouvement d'ensemble du grand tourbillon solaire : le plan de l'orbite d'une planète autour du Soleil occupe alors une position intermédiaire entre l'équateur du grand tourbillon et l'équateur de la planète. Et comme la contribution au mouvement du grand tourbillon est de loin la plus importante, les orbites des planètes ne sont que faiblement inclinées par rapport à l'équateur du grand tourbillon⁴⁰.

Remarquons que, dans tout ce qui précède, Marchand a traité de la cause l'inclinaison du plan des orbites des planètes par rapport au plan de l'équateur du grand tourbillon, plan qui ne coïncide pas nécessairement avec le plan de l'équateur du Soleil et par rapport auquel la question du concours était posée. Cependant, Marchand estime que, puisque les orbites des planètes sont des grands cercles du grand tourbillon, comme l'est le plan de l'équateur du Soleil :

dès qu'on a donné la cause pourquoi les plans des orbites de ces planettes doivent être inclinés à celui de l'équateur du tourbillon solaire, on prouve qu'ils le doivent être aussi au plan de l'équateur de la révolution du soleil sur son axe, ce qui fait précisément la solution du premier membre de la question, ou il ne s'agit encore ni de la cause de la diversité entre ces inclinaisons, ni celle de la quantité de chacune en particulier. (art. 53)

³⁷ On a en effet alors $\frac{v^2}{r} = \frac{V^2}{R}$ avec v et V les vitesses respectivement des particules de la couche externe du petit tourbillon et des particules du grand tourbillon, r et R les diamètres du petit tourbillon et de la couche considérée du grand tourbillon.

³⁸ Marchand montre par un calcul que l'on peut avoir $\frac{F_c}{F_p} \neq \frac{f_c}{f_p}$, F_c et F_p étant les forces centrifuge et polifuge pour le petit tourbillon le plus éloigné du Soleil, f_c et f_p les mêmes types de force pour le petit tourbillon le plus proche du Soleil (en d'autres termes pour la planète la plus proche du Soleil). Pour le petit tourbillon le plus éloigné, F_p est en effet proportionnelle à la vitesse de la couche du grand tourbillon donc $F_p \sim V \sim \frac{1}{\sqrt{R}}$ (d'après la troisième loi de Kepler). D'autre part, $F_c \sim \frac{v^2}{r} = \frac{V^2}{R}$, or comme $V \sim \frac{1}{\sqrt{R}}$ alors $F_c \sim \frac{1}{R^2}$ et $\frac{F_c}{F_p} = \frac{1}{R^2}$. Pour le petit tourbillon situé à la distance r du Soleil, on aurait de même $\frac{f_c}{f_p} = \frac{1}{r^2}$; par conséquent on a bien, nécessairement, $\frac{F_c}{F_p} \neq \frac{f_c}{f_p}$.

³⁹ C'est-à-dire le fait que les petits tourbillons n'ont pas un diamètre proportionnel à leur distance au Soleil.

⁴⁰ Villemot, *Nouveau Système*, seconde partie, chap. V, p. 148-150.

Il en va de même pour la seconde partie de la question. Le plan de l'équateur du grand tourbillon et le plan de l'équateur solaire ne diffèrent que par leur inclinaison éventuelle l'un vis-à-vis de l'autre, quoiqu'inconnue, la cause des différences d'inclinaison des orbites des planètes par rapport à l'un vaut aussi par rapport à l'autre.

3.3 La théorie physique et les observations astronomiques

Marchand envisage la possibilité de vérifier plus avant sa théorie, même s'il reconnaît qu'il n'est guère possible d'observer directement l'inclinaison de l'équateur du grand tourbillon par rapport à celui du Soleil⁴¹, pas plus d'ailleurs que la taille des petits tourbillons (art. 55-58). Il estime toutefois que les travaux des astronomes laissent à penser que les deux plans équatoriaux, celui du Soleil et celui du grand tourbillon, ne coïncident pas. La question des nœuds devient alors centrale dans l'argumentation développée par Marchand. Rappelons que ceux-ci sont les deux points où l'orbite d'une planète coupe le plan d'un grand cercle, habituellement le plan de l'écliptique.

Dans la théorie qui précède, les latitudes extrêmes d'une planète lors de ses « oscillations » de part et d'autre de l'équateur du grand tourbillon restent toujours les mêmes : la force polifuge des particules du fluide céleste qui s'exerce sur les planètes ne dépend pas de la position des nœuds de la planète, ni même de leur mouvement. Or, les observations des astronomes montrent en effet que les nœuds des orbites planétaires⁴² se déplacent lentement (dans le plan de l'écliptique) sans que la latitude extrême des planètes (par rapport à l'écliptique) ne change⁴³. Mais si l'on considère le troisième grand cercle de la sphère constitué par l'équateur du Soleil, il n'est à l'inverse pas possible que les latitudes extrêmes restent les mêmes par rapport à celui-ci. La rotation des nœuds de l'orbite planétaire se fait autour de l'axe polaire du plan de l'écliptique par rapport auquel les latitudes extrêmes restent quant à elles constantes⁴⁴. Or, à partir des tables astronomiques de l'époque on peut déduire que les latitudes extrêmes des planètes par rapport au plan de rotation du Soleil⁴⁵ sur lui-même varient de manière importante avec le déplacement des nœuds. Il est donc clair pour Marchand que le plan de rotation du Soleil sur lui-même ne peut pas être le plan de l'équateur du grand tourbillon.

On pourrait alors penser que l'écliptique coïncide exactement avec l'équateur du grand tourbillon, puisque d'après les tables les latitudes extrêmes des planètes semblent constantes par rapport à l'écliptique, situation qui correspond à la théorie du mouvement des planètes par rapport à l'équateur du grand tourbillon exposée jusqu'ici⁴⁶. Cependant Marchand estime peu vraisemblable cette coïncidence entre plan de l'orbite terrestre et équateur du grand tourbillon⁴⁷. Invoquant les incertitudes liées aux mesures astronomiques, il préfère considérer que l'équateur du grand tourbillon est un grand cercle seulement proche de l'écliptique, très peu incliné par rapport à lui, aux incertitudes de mesure près.

Enfin Marchand envisage une dernière possibilité (art. 66-67). Les tables donnent un mouvement direct (c'est-à-dire d'Ouest en Est dans le ciel) pour les mouvements des nœuds des

⁴¹ Rien ne prouve de fait que ces plans soient les mêmes : selon Marchand des facteurs comme l'influence des tourbillons des étoiles proches peuvent jouer par exemple.

⁴² Marchand prend l'exemple de Mercure.

⁴³ Les mouvements des nœuds, très lents pour les planètes, bien plus rapide dans le cas d'un satellite comme la Lune correspondent à une modification du plan de l'orbite et sont dus, en mécanique newtonienne, à des perturbations causées par les autres planètes (dans le cas du déplacement des nœuds de l'orbite d'une planète) ou par le Soleil (dans le cas de l'orbite d'un satellite comme la Lune).

⁴⁴ En l'occurrence, par rapport à l'équateur solaire, les latitudes extrêmes varient d'une quantité double à celle de l'inclinaison qui existe entre plan de l'écliptique et plan de l'équateur solaire (art. 62).

⁴⁵ C'est-à-dire par rapport au plan de l'équateur solaire. Rappelons que ce plan correspond au trajet observable des taches solaires à la surface du Soleil, qui tourne sur lui-même en 27 jours environ.

⁴⁶ Dans ce cas, et malgré le déplacement des nœuds, l'inclinaison des orbites des planètes sur l'écliptique ne varierait pas au cours du temps.

⁴⁷ Peut-être pense-t-il que ce serait donner un privilège à l'orbite terrestre et que cela semblerait un résidu de géocentrisme.

cinq planètes principales, hormis la Terre⁴⁸, mais sans que l'on tienne compte de la précession des équinoxes⁴⁹. Rapporté à des directions fixes, les différentes planètes ont en réalité un déplacement de leurs nœuds très faibles et, suivant les planètes, dans le sens direct (pour Mercure et Saturne) ou rétrograde (pour Vénus, Mars et Jupiter). Là encore, comme ces mouvements des nœuds sont très faibles, Marchand pense qu'ils pourraient résulter d'erreurs d'observation : ainsi les nœuds de planètes par rapport au plan de l'écliptique pourraient rester immobiles. En ce cas, rien ne s'opposerait à ce que les latitudes extrêmes des planètes par rapport au plan de l'équateur solaire restent constantes. Plan de l'équateur solaire et plan de l'équateur du grand tourbillon pourraient bien coïncider, hypothèse qui le séduit manifestement. Il y a d'ailleurs une autre façon d'accréditer l'identité de ces deux plans : c'est que le Soleil puisse lui-même être considéré comme un tourbillon. En ce cas, les taches solaires, sur lesquelles on se fonde pour déterminer le plan de rotation du Soleil, pourraient connaître une oscillation en latitude comparable à celle des petits tourbillons des planètes et par les mêmes causes (art. 68).

Marchand préfère toutefois ne pas davantage spéculer sur les incertitudes des données astronomiques sur le mouvement des nœuds planétaires et il conclut (art. 69) sur le fait que les deux plans de l'écliptique et de l'équateur du grand tourbillon sont probablement très proches et très peu inclinés l'un par rapport à l'autre. Il termine enfin par une louange de l'Académie royale des sciences, qui a proposé le prix auquel il concourt (art. 70).

4. Conclusion

Au dire même de son auteur, le mémoire soumis au jugement de l'Académie pour le prix de 1732 sur la cause de l'inclinaison des orbites des planètes (prorogé jusqu'en 1734) reprend l'explication tourbillonnaire présentée dès 1730 pour le prix sur la cause des aphélie et périhélie. Les principes d'équilibre exposés par Marchand sont proches de ceux développés par Villemot dans son ouvrage de 1707, notamment quant à l'obtention d'une action centripète en $1/r^2$ en accord avec la troisième loi de Kepler⁵⁰. Dans la partie la plus neuve et la plus originale de son mémoire, Marchand se démarque de son maître et caractérise quelques-uns des paramètres qui fixent les conditions d'équilibre du système solaire, comme par exemple la taille des petits tourbillons, taille dont il fait dépendre la distance qui sépare les planètes et la valeur de l'inclinaison de leurs orbites par rapport au plan de l'écliptique.

Chez Marchand, comme chez beaucoup des défenseurs du mécanisme, la cohérence théorique de l'explication prévaut sur les données de l'observation. Même s'il utilise les résultats des Cassini et de La Hire, il souligne les incertitudes des mesures qui portent sur des mouvements célestes d'une extrême lenteur⁵¹. On peut y voir une défiance vis-à-vis de la précision des résultats astronomiques, ou du moins une hiérarchie de valeur entre le travail théorique d'élaboration d'une explication et le travail empirique de recueil d'observations⁵². Si les aspects quantitatifs jouent donc un simple rôle supplétif dans le mémoire de Marchand, les mathématiques interviennent cependant bien pour exprimer les conditions d'équilibre requises dans l'équilibre théorique tourbillonnaire qu'il construit. Mais cette expression formelle de l'explication mécaniste

⁴⁸ N'oublions pas qu'il s'agit du mouvement des nœuds des autres planètes par rapport au plan de l'écliptique, donc par rapport au plan de l'orbite terrestre considéré comme fixe.

⁴⁹ La précession des équinoxes est due à une lente rotation (en 26 000 ans) de l'axe polaire de la Terre autour du pôle de l'écliptique.

⁵⁰ Comme souligné, Privat de Molières obtient le même résultat dans un mémoire publié en 1730, date à laquelle Marchand devait cependant déjà avoir soumis à l'Académie son premier mémoire.

⁵¹ Le déplacement des nœuds d'une planète comme Mercure prend ainsi environ 230 000 ans.

⁵² De ce point de vue, Marchand semble partager avec Privat de Molières (et d'autres cartésiens) une confiance limitée dans la capacité des mathématiques à toucher réellement aux principes qui gouvernent les lois de la nature. Voir à ce propos Yves Gingras, « Mathématisation et exclusion : socio-analyse de la formation des cités savantes ». Pour illustrer l'idée que les phénomènes physiques ne suivent pas une exactitude toute mathématique pour certains savants cartésiens, Gingras (p. 125) cite un mémoire de Privat de Molières : « les forces mécaniques du tourbillon nous fourniront avec plus de précision les lois astronomiques telles qu'elles sont en effet, que ne peuvent le faire les forces purement métaphysiques de M. Newton, qui les donnent dans une trop grande précision géométrique » (*Les Loix Astronomiques des vistes des Planetes dans leurs Orbes*, p. 311).

développée par Marchand reste pour une bonne part implicite et très embryonnaire en comparaison des contributions de Jean (I) Bernoulli et surtout de Daniel Bernoulli⁵³.

En offrant l'*accessit* au mémoire d'Henri Marchand aux côtés de celui de Pierre Bouguer, qui expose et discute de son côté les mérites et défauts comparés des tourbillons et de l'attraction, l'Académie reconnaît en 1734 la co-existence possible de deux styles en astronomie physique, que l'historiographie a pris l'habitude de ranger sous les appellations de cartésianisme et de newtonianisme.

⁵³ D. Bernoulli inaugure une manière entièrement différente de traiter le problème : il le probabilise. En d'autres termes, il calcule les chances que ces inclinaisons se trouvent dans une portion aussi ramassée de l'espace et « il trouve qu'il y a 1419856 à parier contre 1, qu'elles n'iroient pas toutes vers le même côté du ciel entre des limites si étroites ; d'où il conclut que cette inclinaison a nécessairement une cause ». Ainsi s'exprime D'Alembert dans l'article « Inclinaison », *Encyclopédie*, t. VIII (1765), p. 650b-651a. L'audace de D. Bernoulli et la critique de D'Alembert sont aussi remarquables l'une que l'autre : voir sur le site ENCCRE les notes relatives à cet article « Inclinaison ».

Chapitre V

Jacques Mathon de la Cour, le newtonien a posteriori de Lyon

1. Introduction : biographie de Jacques Mathon de la Cour (1712-1777)

Jacques Mathon naît à Lyon le 28 octobre 1712. Selon La Tourrette, dans l'hommage qu'il rend à son confrère le 2 décembre 1777 en séance publique de l'Académie¹, il est mort le 7 novembre 1777 de la seconde atteinte « d'un coup de paralysie compliquée avec une humeur de goutte ». Nous n'avons guère d'informations sur ses études et ses débuts, sauf ce qu'ajoute La Tourrette :

Les grandes vérités d'une Religion, dont il étoit pénétré, attachèrent d'abord ses regards : il se livra ensuite aux études de la jurisprudence, et fut reçu avocat à Valence, en 1732, non dans la vue d'exercer cette honorable profession, mais pour se former une idée de la théorie des Loix, et perfectionner en lui, les utiles notions du juste et de l'injuste.

Tous les genres d'érudition excitèrent sa curiosité ; L'histoire, la Géographie, la connoissance raisonnée des langues anciennes et modernes, l'attachèrent successivement mais les mathématiques le calcul, l'algèbre, devinrent ses études favorites, et celles par conséquent, où il fit les plus grands progrès. [...] La culture des sciences occupait entièrement M. Mathon. Une conscience pure et délicate lui fit redouter tout emploi public.

Le 12 avril 1736, Mathon fait partie des douze fondateurs de la société des conférences de l'Académie des beaux-arts (ABA), en huitième position par ordre d'ancienneté (voir Introduction, partie 1). Il est ensuite élu également à l'Académie (littéraire) des sciences et belles-lettres (ASBL) le 12 janvier 1740. Le 5 septembre 1758, lorsque les deux académies se réunissent, « la délicatesse de ses sentiments l'oblige de demander la vétérance pour éviter d'être juge des prix académiques »². Il est donc le seul membre actif des deux académies de Lyon qui ne soit pas devenu titulaire de la nouvelle Académie des sciences, belles-lettres et arts. L'allusion de Bollioud est un peu obscure. Mathon avait reçu un accessit au prix de l'Académie des sciences de Paris en 1753 pour son « Mémoire sur la manière la plus avantageuse de suppléer à l'action du vent sur les grands vaisseaux », où il proposait un système de roues à aubes, une pièce de 37 pages qui n'est imprimée que beaucoup plus tard³. Entre temps, le premier prix Christin de l'académie de Lyon, décerné en 1760, déjà lancé au moment de la fusion de 1758, portait sur le sujet voisin suivant : « Trouver la figure des pales des rames la plus avantageuse, et déterminer relativement à cette figure la longueur la plus convenable des rames des galères, celle de leurs parties intérieures et extérieures, et la grandeur de leurs pales. ». La pièce de Mathon au prix de l'Académie de Paris n'était pas encore publiée. Sa réticence à être juge du prix de Lyon est-elle liée à cette chronologie tortueuse ? Cela reste un peu mystérieux.

Bien qu'il ne soit plus titulaire de l'Académie, J. Mathon continue à participer à la vie de cette compagnie jusqu'à son décès. Bollioud signale (Ms 271) qu'au moment de sa mort il était occupé à la rédaction de deux ouvrages, l'un sur l'influence de l'esprit géométrique dans les productions littéraires et l'autre sur le génie des langues comparées entre elles. C'est donc toute une vie consacrée à la science sous ses diverses formes.

2. Les « tributs annuels » de Mathon

Nous manquons de documents sur les activités de Mathon avant la création de la société des

¹ Ms 267-II, f. 506-524. Notre résumé biographique s'inspire de la notice de Denis Reynaud sur Mathon parue dans le *Dictionnaire historique des académiciens de Lyon (1700-2016)*. On y trouvera la liste des interventions de Mathon dans les académies. Nous évoquerons plus loin celles qui ont un lien avec notre sujet.

² Bollioud, « Athénée de Lyon rétabli », notice sur « Mathon », Ms 271, p. 84.

³ Dans le t. 8 publié en 1771 du *Recueil des prix de l'Académie des sciences*.

conférences de l'Académie des beaux-arts le 12 avril 1736. Nous en sommes donc réduits à nous limiter à l'après 1736 ou à tenter des reconstitutions à partir de documents ultérieurs.

Comme tous ses confrères, Mathon *doit* un « tribut annuel » à l'ABA dès 1736 et à l'ASBL à partir de 1740 et, en outre, il est souvent nommé commissaire pour examiner des machines ou des mémoires qui sont envoyés à la compagnie.

Jetons d'abord un coup d'œil global sur les traces des interventions de Mathon dans les deux académies avant la fusion de 1758. Celles lues à l'ABA sont naturellement plus scientifiques et plus précises que celles, littéraires ou vulgarisées, lues à l'ASBL. Commençons néanmoins par ces dernières.

– Comme on peut s'y attendre, les communications lues à l'ASBL touchent des sujets assez généraux et divers. De 1740 à 1746, elles concernent des sujets scientifico-philosophiques (histoire des sciences et des arts, Socrate, utilité des mathématiques), mais aussi une exposition du système de Newton comparé à celui de Descartes, lue en séance privée le 1^{er} septembre 1744 et en séance publique le 1^{er} décembre (c'est visiblement une variante de ce qui a été lu à l'ABA le 1^{er} juillet de la même année). Ensuite, la plupart des interventions de Mathon portent sur les langues, mais on note aussi le 3 mai 1757 des réflexions pour savoir si la vérité des principes de la statique est contingente ou nécessaire. Malheureusement, nous ne disposons pas du texte écrit et le registre ne donne pas de résumé. On sait qu'en 1756 l'Académie de Berlin a proposé ce sujet pour un prix qui n'a jamais été attribué. Les plus grands savants, sans concourir, ont donné leur opinion : Euler estimait que la loi de proportionnalité entre la force et l'accélération ($f = ma$) était nécessaire, D. Bernoulli la jugeait contingente, D'Alembert pensait que la question était mal posée : pour lui, cette loi est une définition, en revanche d'autres lois de la mécanique sont nécessaires⁴.

– Venons-en aux mémoires lus à l'ABA, qui sont les plus intéressants pour notre étude. Nous allons les examiner de plus près dans les paragraphes suivants, donc nous nous contentons ici d'un aperçu. Les premiers (1736-1738) portent sur l'harmonie et la musique. Viennent ensuite des dissertations sur les principes de la mécanique, donc sur Descartes et Newton (1740-1744). Au cours des années suivantes (1744-1753), on a plutôt des interventions de mécanique appliquée, de machines, d'hydraulique. Enfin, dans la dernière période de cette académie (1754-1758), c'est en feuilleton la lecture de ses « Elémens de dynamique ». Il y a également quelques autres thèmes abordés épisodiquement : un peu de calcul intégral (1736, 1741 et 1742), les probabilités (1739), les cadrans solaires (1744), l'arpentage (1748).

Un mot maintenant sur les interventions de Mathon autres que ses tributs annuels. Il s'agit, bien sûr, pour l'essentiel, de rapports sur des mémoires ou des inventions envoyés par des personnes diverses : des savants reconnus, des amateurs, des artistes ingénieux. Nous ne pouvons pas entrer dans le détail, mais il convient de dégager deux remarques sur cet ensemble : 1°. Les rapports en question sont rédigés conjointement par plusieurs académiciens (en général deux ou trois), tels Soufflot, Béraud, Delorme, etc. ; il faut insister sur le rôle de l'abbé de Valernod qui a effectué (seul, avec Mathon ou avec d'autres) un nombre incalculable de rapports sur des inventions de toutes sortes, en général mécaniques ou hydrauliques ; 2°. Les rapports de Mathon peuvent porter sur des mémoires peu intéressants (quadrature du cercle, mouvement perpétuel), mais le plus souvent il s'agit de machines (pompes, moulins, etc.), ce qui n'est pas sans liens avec ses mémoires personnels sur la mécanique. Il y a aussi des sujets divers éparpillés⁵. Enfin, Mathon est directeur de l'Académie des beaux-arts en 1745, il doit à ce titre lire les discours d'ouverture pour les deux séances publiques de l'année (5 mai et 1^{er} décembre) et donner un compte rendu et des résumés des travaux des séances privées.

3. Comment le newtonianisme est-il venu à Mathon ?

⁴ Sur ce prix de 1756 et les positions des différents savants ci-dessus mentionnés, voir Firode, *La dynamique de D'Alembert*.

⁵ Sur ces rapports, voir la notice sur Mathon par Denis Reynaud dans le *Dictionnaire historique des académiciens de Lyon*, p. 859-862.

Dès sa constitution, comme nous l'avons dit dans l'introduction, l'Académie des beaux-arts a « pour objet tous les Beaux Arts, Et les sciences qui sont nécessaires à leur perfection », mais, en raison de son origine (voir Introduction, partie 1), de nombreuses contributions portent sur la musique et ses fondements scientifiques : il y a un âpre débat entre Bollioud-Mermet, adversaire acharné des théories de Rameau et plusieurs autres académiciens qui en sont au contraire partisans, comme on peut le voir dans les débats explicites et implicites qui ont lieu dans cette académie de 1736 à 1741 en particulier, les mémoires étant regroupés dans le Ms 161. Y interviennent en particulier Cheinet, Joannon et Mathon, plutôt en faveur de Rameau.

Un aspect voisin porte sur l'harmonie dans ses relations plus générales entre les sciences et les arts, ce qui met en jeu l'optique et l'acoustique, disciplines qui semblent apparentées (notamment à cause de leurs aspects vibratoires), mais sans qu'on sache exactement comment. Cette question tourmente en particulier le P. Castel (1688-1757), l'un des principaux rédacteurs des *Mémoires de Trévoux* de 1720 à 1745 : pour lui, l'analogie entre les sons et les couleurs est très forte et on devrait pouvoir transposer l'harmonie des uns à celle des autres, c'est son fameux projet de « clavecin oculaire ». Le premier discours de Mathon lu le 30 mai 1736, donc un mois et demi après la formation de la société, porte précisément « sur l'harmonie des couleurs ».

Ce discours, dont le manuscrit est conservé⁶ concerne le clavecin oculaire du P. Castel. Après quelques politesses d'usage sur le duc de Villeroy, protecteur de l'institution, et Camille Perrichon, son directeur, Mathon tente de définir l'harmonie de façon générale et loue la tentative du P. Castel. Il explique ensuite l'harmonie dans la musique, puis la théorie analogue du P. Castel relative aux couleurs, et résume les deux systèmes diatonique et chromatique associés par un tableau. Il termine en exprimant ses doutes sur la possibilité de définir correctement l'octave dans ce cadre, il s'agit pour lui d'« une difficulté contre le système du P. Castel qui paroît assez considérable », voire d'une « contradiction » ; mais comme l'intéressé n'a pas explicité sa théorie sur ce point, Mathon ajoute qu'« il faut attendre que le P. Castel ait publié le reste de son système pour pouvoir en juger ».

C'est évidemment par la lecture des *Mémoires de Trévoux* et en particulier des articles du P. Castel que Mathon est informé de ces travaux et projets. Les académies de Lyon sont liées à ce périodique, à la fois parce qu'il est très répandu, que des articles en sont parfois lus en séance et aussi parce qu'il est tenu par les jésuites qui forment une partie de l'ossature scientifique de ces compagnies. Inversement les *Mémoires de Trévoux* vont bientôt rendre compte de certaines séances publiques de l'ABA (voir Introduction, partie 1).

Sur un sujet similaire, le 26 juillet 1736⁷,

Mr Mathon à lu un discours sur la proportion harmonique ou il a fait voir qu'elle ne merite pas le nom qu'elle porte parce qu'elle n'est d'aucun usage en musique, et que si elle se trouve entre les longueurs des cordes qui divisent harmoniquement l'octave, la quinte et la tierce, ce n'est qu'accidentellement, et non pas une propriété qui lui soit particuliere.

Dans une certaine mesure, il répond au mémoire de Joannon sur le même sujet lu le 27 juin⁸, et Joannon lui répond le 29 août⁹.

Le 8 avril 1737, Mathon lit un traité des principes de la composition de la musique¹⁰, où il défend Rameau (donc contre Bollioud), en donnant un abrégé complet parce que Rameau est « hors de la portée des commençans ».

Le 10 mars 1738, il lit un mémoire sur la génération harmonique et la basse universelle¹¹. Dans la plupart de ces interventions, l'auteur central qui est discuté de façon ouverte ou non, est Rameau, il n'est pas question d'idées cartésiennes ou newtoniennes, c'est seulement à propos des

⁶ Ms 184, f. 24-37.

⁷ Ms 154, f. 3-6, n° 19.

⁸ Ms 161, f. 106-175, n° 15.

⁹ Ms 161, f. 176-183, n° 25.

¹⁰ Ms 161; f. 1-19, n° 50.

¹¹ Ms 161, f. 21-26, n° 92.

analogies du P. Castel entre l'optique et l'acoustique qu'on voit poindre un rapport indirect à Descartes.

En 1740, Castel publie *L'Optique des couleurs*. L'année suivante, il entre en relation régulière avec l'Académie des beaux-arts et la conversation continue avec Jean-Pierre Christin, Mathon et Joannon. Toujours dans l'esprit du clavecin oculaire, Castel cherche à fabriquer un ruban qui représente par une suite de « 144 degrés » toutes les nuances des couleurs « depuis le noir jusqu'au blanc ». Il ne trouve pas à Paris suffisamment de savoir-faire en matière de teintures et il constate que, dans la Capitale, « les ouvriers sont peu maniables ». Il rencontre alors Joannon, membre de l'Académie des beaux-arts, mais résidant alors à Paris, qui « voulait faire exécuter cette idée à Lyon en rubans par le moyen de la teinture », parce que « la teinture & la manufacture des soies [y] sont plus savantes, plus riches & plus à souhait » (*L'Optique*, p. 190). On voit par la même occasion que la correspondance continue à rouler en partie sur les relations de l'Académie avec les *Mémoires de Trévoux*¹². Bien que le P. Castel soit célèbre et que l'Académie des beaux-arts compte déjà de nombreux associés au début des années quarante, celui-ci ne sera élu associé qu'en 1749, est-ce un hasard ou doit-on y voir une petite réticence des Lyonnais à des relations plus étroites ? Nous ne le savons pas¹³.

4. Les premiers exposés newtoniens explicites

Mathon consacre directement trois interventions aux théories de Newton, mises en regard de celles des cartésiens. Elles sont lues à l'Académie des beaux-arts entre 1740 et 1744 et portent sur plusieurs aspects :

- 23 mars 1740 : « Introduction a la physique de Newton »¹⁴.
- 27 février 1743 : « Memoire sur la theorie des forces centrales des astres dont les apsides ne sont pas fixes »¹⁵.
- 25 juin 1744 : « Dissertation en forme de Lettre de Mr Mathon de la Cour, Sur un livre du R. P. Castel de la compagnie de jesus et de la societé royale de Londres, intitulé le vray systeme de physique generale de Mr Isaac Newton, exposé et analysé en parallele avec celui de Descartes »¹⁶.

Aucun autre exposé de l'auteur sur « la physique de Newton » n'apparaît sur les registres ; le second est présenté comme une suite directe du premier, malgré les trois ans qui les séparent. Dans les trois cas, Mathon ne se définit pas comme un newtonien « a priori », mais comme un observateur qui étudie les deux systèmes et constate que, pour la science du mouvement et l'astronomie, celui de Newton est meilleur. Ces mémoires portent sur les fondements de ces disciplines. Nous reproduisons le premier en Annexe II. Nous allons les décrire brièvement tous les trois et apporter quelques commentaires.

L'introduction à la physique de Newton

Le premier mémoire, qui porte sur l'attraction, a visiblement convaincu l'Académie de son utilité, parce qu'il est même l'un des deux qui sont sélectionnés, parmi tous ceux du semestre, pour être lus en séance publique le 7 décembre 1740. L'auteur constate l'existence d'un débat vif entre les partisans de Newton et ceux de Descartes et estime qu'il faut voir sur pièces. Les *Principia* originaux sont elliptiques et très difficiles à lire, selon Mathon. Seul le premier tome de l'édition annotée de Jacquier et Le Seur est alors publié ; en outre, chacun ressent le « besoin d'un livre plus court qui pût en servant d'introduction a la lecture de Neuton, donner une idée

¹² Voir Reynaud et Terao, « Deux lettres du P. Castel à l'Académie de Lyon ».

¹³ A ce sujet, on consultera la thèse de Richard, *The art of making ruin and fair weather*. La liste complète des œuvres du P. Castel se trouve dans ce travail, p. 357-379.

¹⁴ Ms 200, f. 34-41, n° 210.

¹⁵ Ms 207, f. 221-228, n° 360.

¹⁶ Ms 208-I, f. 8-12, n° 422. Cet écrit est publié dans les *Mémoires de Trévoux*, juillet 1744, p. 1212-1230 (la lettre y est datée du 18 juin). Nous en parlons aussi dans la partie 4 de l'introduction de cet ouvrage.

suffisante de sa physique a ceux qui n'en demandent pas davantage ». Les *Elémens de la philosophie de Neuton*, de Voltaire (1738), sont trop vulgarisés et, apparemment, Mathon ne connaît pas l'ouvrage de Pemberton, *A View of Sir Isaac Newton's Philosophy* (1728), qui est certes en anglais, langue dont nous ignorons si elle est alors connue de Mathon (voir chapitre VII). Mathon cherche à se placer dans ce créneau, celui d'un genre accessible mais scientifique, « sur un ton plus sérieux » que celui des sectateurs et des adversaires de Newton. Il va donc s'attaquer au cœur de la question : démontrer, à l'aide de la géométrie « que tous les astres ont un mouvement vers un centre, que la force qui les y pousse est en raison inverse des quarrés de leurs distances de ce centre, et que cette force est la meme chose que la pesanteur ». Il cite quelques passages de Newton en latin et, pour la géométrie, il utilise Christian Wolff, *Elementa matheosos universae*, traité assez clair publié en 1713-1715, puis réédité et bien diffusé, et un mémoire d'Abraham de Moivre publié en 1720. Il ajoute qu'il est absurde d'accuser le savant anglais d'un retour aux qualités occultes : l'attraction « est un fait » et Newton « ne pretend point par ces termes decider de quelle maniere la chose arrive, ni parler en physicien qui explique la cause de cette union des corps, mais seulement en geometre qui en calcule les rapports ». Pour ce mémoire de Mathon, nous renvoyons le lecteur à l'Annexe II et à sa présentation.

Les forces centrales des axes dont les apsides ne sont pas fixes

Le second mémoire est rédigé dans le même esprit. Après un rappel du premier et la constatation que le « Systeme des Tourbillons » a montré « une preuve de sa fausseté », il évoque le P. Duclos, cartésien convaincu s'il en est, ancien membre de l'Académie, mais parti de Lyon à la fin 1740, et précise son objectif :

Nous avons ouï dire quelquefois a l'un de nos plus sçavans confreres [en marge : Le R.P. du clos jesuite] que ceux qui entendoient parfaitement Neuton etoient ou plus habiles ou plus heureux, ou plus patiens que luy. cette derniere qualité est ma seule ressource pour developper les principes du philosophe Anglois [f. 222r] et les rendre plus intelligibles a ceux qui ont une teinture mediocre de Geometrie. J'essayeray aujourdhuy de demontrer d'une maniere plus claire une partie de la sect. 9e du 1 Livre de Neuton, qui traite du mouvement des absides.

Il est relativement facile de calculer le mouvement d'un corps céleste (une planète par exemple), tournant autour d'un autre situé au foyer d'une ellipse fixe. En revanche, lorsque l'ellipse elle-même (notamment ses points extrêmes, qu'on appelle les apsides) bouge légèrement, le calcul se complique. La suite du mémoire consiste en une démonstration mathématique s'appuyant, comme précédemment, sur Wolff.

La critique du P. Castel

La troisième dissertation apparaît comme une réponse à des discussions qui ont dû avoir lieu à l'Académie et dont nous n'avons pas de trace. En effet, cet écrit « en forme de Lettre » commence ainsi :

Puisque vous exigez de moy que je vous parle à cœur ouvert sur l'Ouvrage du R. P. Castel contre Newton, j'aurai l'honneur de vous dire, que ce Livre qui est encore très-rare en ce pays m'étant tombé par hazard entre les mains il y a environ un mois ; je le lûs avec toute la curiosité que put m'inspirer le nom de son Auteur pour lequel j'ai toujours eu une estime véritable. Je ne fus point surpris d'y voir un grand nombre de réflexions neuves, sçavantes & judicieuses, présentées avec un stile plein de force & d'énergie ; mais je vous avoue que j'y trouvai plusieurs raisonnemens qui ne me parurent pas sans replique, & auxquels je suis persuadé que les Newtoniens ne se rendront pas. Vous sçavez, Monsieur, que *je n'ay pris aucun parti entre les différens Systèmes qui sont a la mode* : ils ne sont assez prouvés ni les uns ni les autres, & je désespère qu'on parvienne jamais parfaitement a connoître celui de la nature ; mais en abandonnant le gros des systèmes, je respecte les vérités particulières que leurs Auteurs ont decouvertes, & j'en trouve plusieurs dans Newton qui me paroissent hors

d'atteinte¹⁷.

L'ouvrage du P. Castel est en effet de l'année précédente, 1743. Son ton est beaucoup moins prudent que celui de Mathon, c'est une attaque en règle, aussi bien contre les *Principia* que contre l'*Opticks*. Nous avons expliqué dans la partie 4 de l'Introduction de cet ouvrage les positions du P. Castel contenues dans son *Vrai système de physique*. En particulier, le jésuite rejette la validité mathématique de la démonstration de la Proposition II du Livre I des *Principes* de Newton dans la Sixième analyse de son livre intitulée « De la détermination des centres. Des révolutions celestes » ; il estime aussi que Newton donne une loi mathématique alors qu'il faudrait une loi physique, autrement dit, que Newton ne justifie rien en terme de causes mécaniques (Castel, *Vrai système de physique*, p. 327-369)¹⁸. Dans sa *Dissertation*, Mathon examine spécifiquement cette « Sixième analyse » et montre l'erreur du raisonnement mathématique de Castel :

Cependant la sixième Analyse de l'Ouvrage du P. Castel est employée toute entiere a combattre ce Théorème, qui est un des fondemens du Système de Newton : les objections qu'il y fait au philosophe Anglois, ont receu de si grands Eloges dans quelques Journaux Litteraires que je n'ay pu m'empêcher d'examiner de plus pres une question qui devient importante¹⁹.

Concernant ces « Journaux Litteraires », remarquons que le *Journal de Trévoux* donne une très longue recension du livre de Castel, la « Sixième analyse » faisant partie de ce résumé élogieux²⁰.

Mais dès les premières lignes du texte de Mathon apparaissent aussi des divergences épistémologiques majeures entre les deux hommes. En effet, si Mathon précise ne pas prendre parti entre « les différens Systèmes qui sont à la mode », à l'instar de Castel, c'est parce que, pour sa part, il ne les juge pas « assez prouvés » et il se montre sceptique sur la possibilité de « connoître celui de la nature ». Aussi préfère-t-il « abandonn[er] le gros des systèmes », mais respecter « les vérités particulières que leurs Auteurs ont découvertes » écrivant « en trouve[r] plusieurs dans Newton qui me paroissent hors d'atteinte »²¹. Ainsi, non seulement, Mathon dénonce une erreur mathématique de Castel, mais il substitue aussi à la recherche du système physique qu'emploierait la nature une recherche purement mathématique de ses lois. Ce dernier point correspond à l'épistémologie générale de l'académicien telle qu'elle transparait dans l'Annexe II.

Une dissertation sous forme de lettre correspond à une figure de style classique à l'époque, surtout lorsqu'elle est destinée à paraître dans un journal. Dans le cas présent, ce 25 juin 1744, à l'ABA, Mathon répond peut-être indirectement à deux interventions du très éclectique Guillaume Rey, la première sur l'astronomie physique, le 25 février 1744, la seconde comme « Réfutation de quelques principes de Neuton », le 28 avril 1744. En effet, si Rey rejette Ptolémée et Tycho Brahé, au profit de Copernic, il condamne aussi Newton et souhaite revenir à Descartes, comme trente-cinq ans auparavant, au temps où il soutenait Villemot.

La lecture de Mathon de la Cour du 1^{er} septembre 1744 à l'ASBL d'« une exposition abregée du systeme de neuuton comparé au systeme de descartes »²² présente une toute autre histoire que celle décrite par Castel ou, plutôt, suggère que pour Mathon l'histoire du débat Descartes-Newton est révolue. Ainsi, Mathon rapporte les explications des « cartésiens » des principaux phénomènes de « l'astronomie phisique » et les objections opposées à ce système, en particulier « l'impossibilité de concilier les loix de Kepler avec celles du tourbillonnement ». Il évoque le système de Newton en soulignant que la gravité est « une proprieté de la matiere ». Pour Mathon,

¹⁷ Mathon, *Dissertation en forme de Lettre*, p. 1213. Souligné par nous. Le manuscrit Ms 208-I, f. 8-12, n° 422 diffère par l'orthographe et par le mot « feu » au lieu de « force » et la place de l'adverbe « parfaitement » qui figure après « connoître ».

¹⁸ Dans cette proposition, Newton établit qu'un corps qui respecte la loi des aires subit l'action d'une force centrale.

¹⁹ Mathon, *Dissertation en forme de Lettre*, p. 1214.

²⁰ *Le vrai système de Physique Générale de M. Isaac Newton*, dans *Journal de Trévoux*, Octobre 1743, p. 2584-2630 ; Décembre 1743, p. 2974-3020 ; Février 1744, p. 232-272. L'examen de la « Sixième analyse » figure dans l'exemplaire de décembre 1743.

²¹ Mathon, *Dissertation en forme de Lettre*, p. 1213.

²² Registre ASBL, f° 33v-34r.

« ce ne peut être qu'une loi arbitraire imposée à la nature par le créateur, elle est semblable en ce point à l'impulsion, et aux autres lois de la continuation et de la conservation du mouvement qui ne sont point essentielles à la matière ». Comme déjà remarqué, Maupertuis met aussi sur un même pied d'égalité la loi de l'attraction et celles de l'impulsion ou du choc des corps ; Maupertuis énonce finalement que la première théorie est préférable puisqu'elle explique davantage et mieux (voir Introduction, partie 2). Si Mathon écrit qu'en général les « systèmes » n'échappent pas aux « suppositions », pour autant

on ne peut donc refuser celle-ci [l'attraction] aux newtoniens, on le doit d'autant moins / qu'elle présente un mécanisme beaucoup plus simple que celui du monde cartésien. Par le moyen de l'attraction on explique les phénomènes de l'astronomie d'une manière très claire et très ingénieuse. Cet avantage manque au système de Descartes, les tourbillons sont des machines si compliquées qu'on ne peut pas en connaître les effets avec précision, ni s'assurer qu'ils soient capables de produire dans les cieux des mouvements conformes aux observations des astronomes.

On retrouve ici un trait de l'épistémologie de Mathon, privilégiant à la recherche des causes les lois mathématisées apportant précision et prédiction.

5. Mathématiques, mécanique théorique et mécanique pratique

À partir de 1744, Mathon va se concentrer sur la résolution des problèmes qui lui tiennent à cœur et qui touchent surtout les machines, la navigation et des tâches plus pratiques. Continuons notre exploration des registres et des mémoires pour tenter de comprendre les objectifs et la façon de raisonner de Mathon. Il ne donne pas de profession de foi théoricien ni praticien. On ne le voit pas prendre de positions a priori, il observe et il tente d'apporter sa pierre, d'approfondir tel ou tel sujet, de rectifier des erreurs lues çà ou là, de répondre à des questions d'interlocuteurs dont il ne nous dit pas forcément le nom.

Dans un petit mémoire sans titre très explicite, le 22 mars 1741²³, il résout un problème de géométrie pratique, le calcul de volume suivant :

Le centre d'une Sphere étant posé dans la circonférence d'un cylindre dont le diamètre est égal au rayon de la sphere, on demande la solidité de la partie de cette sphere qui entre dans le cylindre.

Il ne s'agit pas de haute géométrie, mais il faut un peu de calcul intégral et l'auteur donne une estimation du résultat grâce à un développement en série qui lui fournit des approximations par excès et par défaut.

Le 29 août 1742²⁴, il fait un rapport spontané sur une quadrature du cercle. Habituellement, les académiciens considèrent cette tâche comme une corvée et ils s'en acquittent surtout par devoir quand un « quadrateur » (toujours importun) demande à l'académie d'examiner son mémoire. Ici, c'est différent. Mathon rédige spontanément :

Messieurs. il m'est tombé depuis peu entre les mains un petit ouvrage sur la quadrature du cercle, dont l'auteur porte un nom connu depuis longtemps dans cette ville, et est estimé par les sçavans [...]

Il s'agit de la *Quadrature géométrique du secteur de cercle de quarante-cinq degrés*, de l'abbé Falconnet. Mathon explique alors longuement, dans un style plutôt fleuri, qu'il ne suffit pas que les académiciens se contentent de leur tribut annuel, mais qu'ils doivent informer la compagnie de ce qu'ils ont lu. Puis il passe à l'examen du mémoire dont il identifie les erreurs avec une certaine bienveillance (peut-être due aussi au fait qu'il s'agit d'un notable lyonnais).

L'année suivante, le 7 août 1743, il participe avec Delorme à un rapport relatif à la

²³ Ms 208-II, f. 69-70, n° 271.

²⁴ Ms 208-I, f. 95-99, n° 333.

Dissertation sur la géométrie de Liger²⁵. Le rapport est de la main de Delorme et conclut à l'absurdité des affirmations de l'auteur, lequel se prononce contre Euclide, contre l'algèbre et croit que la diagonale d'un carré est commensurable au côté.

Le 9 septembre 1744, Mathon présente le « Projet d'une machine qui fera monter perpetuellement de l'eau par la chute de celle qu'elle aura élevée »²⁶. Il se situe ici dans le sillage de l'*Architecture hydraulique* de Belidor (1737), expliquant que sa machine « peut être mise dans la classe [connue] de celles qui ayant une chute d'eau pour force mouvante, elevent une partie de cette eau ». Ce n'est pas « mouvement perpetuel » « si désiré », ce ne le serait que « si le jeu de la machine n'exigeoit pas un lieu plus bas que le niveau de l'eau qu'on eleve ». La description suit, ce sont des jeux de leviers et de cuillers, dont il discute avantages et inconvénients.

Le 25 novembre 1744, Mathon lit la solution d'un problème d'hydraulique²⁷. Il s'agit de « trouver l'effet d'un courant qui produit un mouvement perpendiculaire a sa direction par son choc sur une surface oblique ». Le cœur de ce mémoire est la distinction entre l'« effort » d'un courant et son « effet » : « l'effort se mesure par le poids que le choc du courant contre une surface immobile, peut tenir en equilibre. l'effet est la quantité de mouvement produite par le choc du courant sur une vanne qu'il pousse ». Il s'agit donc là, comme dans d'autres mémoires, d'insister sur l'importance de la *dynamique* et de ne pas se borner à la *statique*. Il montre alors que, selon qu'on recherche le plus grand effort ou le plus grand effet, on n'arrive pas au même résultat et il discute des limites de cette distinction théorique dans la pratique.

Le 9 mars 1746, il lit un autre mémoire sur l'effort d'un corps qui se meut dans l'eau dormante²⁸, il y a une suite le 4 mai 1753²⁹. D'après le registre du 9 mars 1746 :

L'Auteur attaque ceux qui enseignent que l'effort necessaire a une vanne pour être muë par une eau dormante avec une vitesse donnée, est egal a l'impulsion d'un courant qui frapperait avec la même vitesse cette vanne supposée immobile, d'où il suit que les forces du corps mù dans une eau dormante doivent être en meme raisons que les quarrés de leurs vitesses. Il pretend que cette solution n'est pas exacte en ce qu'elle ne fait aucune attention a la force necessaire pour vaincre la poussée de l'eau produite par sa pesanteur [...] ; les forces des corps mùs dans l'eau dormante doivent par consequent, dit l'auteur, croître en une raison plus grande que les quarrés de leurs vitesses ; le calcul integral lui a fourni une formule generale pour exprimer ces forces.

Le second mémoire reprend le même thème par une méthode différente et redonne « dans la 2e partie » celle du premier mémoire, c'est probablement pourquoi celui-ci n'a pas été conservé. Comme le dit succinctement le registre : « les liquides agissent [...] par une pression et un ressort qui suivent d'autre règles que celles du choc des solides ». Il en tire des conclusions sur les formes souhaitables pour les proues et les poupes des vaisseaux, comparés aux poissons. Il émet, à juste titre, des doutes sur la loi reçue de résistance des fluides, c'est une façon de pressentir la crise de l'hydrodynamique qui va se manifester plus explicitement dans les années 1760, comme le montreront les discussions entre D'Alembert, Borda, Bossut³⁰.

Le 21 février 1748³¹, il examine un problème délicat concernant l'arpentage, à la limite du droit, de l'agronomie et des mathématiques : pour un terrain en pente, faut-il mesurer sa surface réelle ondulée et bosselée, ou bien sa « base horizontale », c'est-à-dire la projection du terrain sur le plan horizontal ? Ces deux méthodes s'appellent alors respectivement développement et cultellation. Après quelques réflexions sur les erreurs de mesure, il se prononce pour la seconde et explique concrètement comment procéder. On notera que l'Académie des sciences de Paris est consultée beaucoup plus tard sur cette question et répond de la même façon le 8 avril 1772, par

²⁵ Ms 208-I, f. 33-34, n° 384.

²⁶ Ms 186, f. 174-176, n° 432.

²⁷ Ms 186, f. 21-24, n° 435.

²⁸ n° 490, pas de manuscrit trouvé.

²⁹ Ms 215, f. 63-66.

³⁰ Voir en particulier Guilbaud, *L'hydrodynamique dans l'œuvre de D'Alembert*.

³¹ Ms 208-I, f. 236-241, n° 579.

un rapport de Tillet et Bossut, qui figure dans les procès-verbaux de cette compagnie ; cela est repris par Condorcet dans le *Supplément de l'Encyclopédie*, à l'article Arpentage.

Le 29 janvier 1749, ce sont des nouvelles « recherches sur la force des roues mues par les courants », avec une suite le 16 février 1752³². Le registre nous en donne un aperçu très clair, il s'agit de déterminer les meilleures conditions pour les roues à aubes :

L'auteur y développe les principes pour calculer l'effet sur des aubes frappées perpendiculairement ou obliquement, en entier ou en partie, mobiles ou immobiles. il donne ensuite des formules pour connoître les vitesses qui procurent les effets les plus avantageux à chaque situation de rouë, et pour trouver la vitesse lorsque l'effort est connu.

Ce mémoire sert de base à la pièce de l'auteur récompensée par l'Académie de Paris en 1753 (et dont nous avons parlé en introduction). D'ailleurs, les 3 et 17 août de cette année-là, il lit ce mémoire à la Société royale. Il demande ultérieurement des commissaires le 30 avril 1756 pour avoir le droit « de mettre son titre d'académicien » (de Lyon) à la tête de l'ouvrage qui ne sera publié que quinze ans plus tard.

Le 25 février 1750, Mathon lit un mémoire « sur la resistance des points d'appui »³³ : il s'agit d'abord d'une réflexion sur le principe d'action et de réaction, qu'il estime central dans la mécanique et sur lequel sera fondé son traité publié en 1763, comme on le verra ci-dessous.

Le 24 mars 1751, c'est un mémoire sur les étranglements dans les tuyaux des pompes³⁴. D'après les registres pour cette date, Mathon constate que, dans ce cas, « L'expérience semble etre en contradiction avec la theorie sur le calcul des forces necessaires pour élever l'eau » ; la théorie dit que les forces sont en raison inverse des carrés des ouvertures. Il est ajouté joliment :

Les consequences que de bons auteurs en ont tirées dans leurs ouvrages produisent dans le calcul de plusieurs sortes de pompes des differences que les praticiens ne veulent pas adopter, se croyant en droit d'y opposer leur experience journaliere.

Dans le mémoire lui-même, il est précisé que son attention a été attirée sur ce paradoxe par « Monsieur l'abbé de Valernod notre illustre confrere a qui l'hydraulique et les autres parties de la Mechanique doivent plusieurs decouvertes utiles et importantes », en particulier à propos de « la machine construite par les soins de feu M. Petitot sur le rempart de cette ville pour fournir de l'eau aux fontaines de la place de Louis le grand [aujourd'hui, place Bellecour] ». Mathon distingue alors les cas des « tuyaux montans ou de refoulement », où la différence est faible, de ceux « d'aspiration », où elle est considérable, et il propose un calcul qui réconcilie la théorie et l'expérience³⁵.

Mathon a abordé aussi quelques questions relatives aux cadrans solaires le 18 mars 1744³⁶ et sur les méridiennes le 8 février 1747³⁷.

Nous nous sommes limités aux interventions personnelles de Mathon relatives à la mécanique et à l'hydraulique, mais, comme nous l'avons dit plus haut, l'examen de machines et inventions, en tant que commissaire de l'académie, a également contribué à sa culture mécanique et à ses motivations pour des mémoires plus théoriques. Tout ce paragraphe nous a montré que, vers le milieu des années cinquante, à un peu plus de quarante ans, Jacques Mathon de la Cour a abordé, sous des formes diverses, en tant que théoricien ou praticien, en tant que chercheur ou commissaire, toutes sortes de questions de mécanique générale, des solides, des fluides ou des corps célestes. On comprend donc qu'en 1754, il ait envie de faire le point sur la mécanique et de publier un ouvrage d'une certaine envergure.

³² Ms 186, f. 167-173, n° 638.

³³ Ms 209, f. 24-29, n° 693.

³⁴ Ms 186, f. 58-61, n° 750.

³⁵ Sur Petitot, voir aussi le registre au 20 avril 1739.

³⁶ Ms 179, f. 7-12.

³⁷ Ms 179, f. 13-18.

6. Les Nouveaux Elémens de dynamique et de mécanique de 1763

Au cours des années cinquante, Mathon développe une idée qu'on a déjà vu germer lors de ses exposés antérieurs : en mécanique, on s'est jusqu'ici trop souvent cantonné à l'étude de la statique et des machines (dont la théorie s'appuie sur la seule statique) et on a négligé la dynamique. Le mot « dynamique » est relativement récent, il a été mis à l'honneur par Leibniz pour signifier l'étude des mouvements en considérant les forces qui les produisent. Mais depuis la fin des années 1730, le mot renvoie aussi à l'étude de mouvements de systèmes à liaisons (assemblages de corps liés par des fils, verges). Dans cette deuxième acception, cette science est récente et initiée et développée par les Bernoulli, Euler, Clairaut, et D'Alembert dont le *Traité de dynamique* (1743) a fait date³⁸. Dans son livre, Mathon s'attache aux deux sens du mot « dynamique » et propose aussi une étude pratique des machines simples – qui sont aussi des systèmes à liaisons – en les considérant en tenant compte notamment de leurs frottements.

Mathon de la Cour entend donc promouvoir cette nouvelle science, et c'est à quoi il s'emploie au milieu de la décennie cinquante par des lectures d'« Elémens de dynamique et de mécanique », mais il ne publie son ouvrage que plus tard « à Avignon, chez la veuve Girard en 1762 », puis avec « quelques additions » en 1763. Le livre qui est publié à Lyon chez Perisse sous le titre *Nouveaux Elémens de dynamique et de mécanique* contient une note précisant que

les différentes parties de cet ouvrage ont été lues dans les Séances de l'Académie de Lyon depuis l'année 1754 jusques à l'année 1758, pour le tribut Académique de l'Auteur (Mathon, *Nouveaux Elémens*, 1763, p. 1)

Nous disposons du manuscrit et de l'imprimé, qui présentent des différences assez importantes. Des morceaux de cet ouvrage sont lus chaque année entre 1754 et 1758 au titre de « tribut annuel » à la Société royale (nouveau nom de l'ABA à partir de 1748) : les dates de lecture sont portées sur le manuscrit³⁹ et sur les registres (où des résumés d'une ou deux pages sont donnés)⁴⁰. En outre, le 20 novembre 1760, à l'ASBLA, on lit dans le registre, sans autre commentaire (et nous n'avons pas trouvé de manuscrit correspondant) :

Le Problème de M. Le Chevalier d'Arcy sur la force des Poulies a donné lieu à M. Mathon de proposer quelques Questions de Dynamique relatives à ce sujet, dont il a donné la solution (registre, p. 55).

Ce sera le chapitre XXII dans le livre imprimé. Ce dernier est distribué en 50 exemplaires à l'Académie le 18 janvier 1763.

Les préfaces

Si les préfaces du manuscrit et de l'imprimé sont différentes, elles ont toutes deux un objectif commun bien clair, exprimé dès le 1^{er} mars 1754 (f. 30r) :

Je me propose dans cet ouvrage de donner les premiers principes de la dynamique non dans toute leur étendue et avec tout le détail des conséquences pratiques qu'on en peut tirer, mais cependant en les développant assés pour que ceux qui auront compris les principes puissent en tirer eux memes les conséquences et résoudre les problèmes de Méchanique les plus curieux. Cest en quelque façon un essay ou un prospectus de la maniere dont je pense qu'on devoit presenter cette science, une espece d'introduction a la lecture des auteurs qui ont traité ces matieres plus a fonds.

³⁸ Sur les sens de ce mot « dynamique » à l'époque, nous renvoyons à l'article de D'Alembert « Dynamique », *Encyclopédie*, t. V (1755), p. 174b-176a.

³⁹ Ms 209, f. 30-53, n° 893 -avec des lettres jusqu'à E suivant la lecture.

⁴⁰ 1^{er} mars 1754, f. 30-34 (registres pour 1750-1755, p. 224-225) ; 7 mars 1755, f. 35-39r (idem, p. 262-263) ; 16 janvier 1756, f. 39r-43 (reg. pour 1756-1758, f. 195v-196r) ; 21 janvier 1757, f. 44-47v (id., f. 211r-v) ; 13 janvier 1758, f. 47v-53 (id., f. 222r-v)

En effet, il n'existe pas alors d'ouvrage de ce type. Le *Traité de dynamique* de D'Alembert est, il faut bien le reconnaître, pratiquement incompréhensible pour une personne ayant quelque teinture de géométrie et même pour la plupart des savants, à tel point que son auteur charge l'académicien des sciences parisien Etienne Bézout (1730-1783) de rédiger 61 notes pour le rendre plus accessible, ce qui va donner la 2^e édition en 1758⁴¹. Ce n'est peut-être pas un hasard si Mathon entreprend son ouvrage entre les deux éditions et avant même l'article « Dynamique » de l'*Encyclopédie* (qui paraît en 1755), mais nous n'avons vu aucune mention de D'Alembert dans les travaux de Mathon, lesquels se situent en partie à la même époque que l'affaire Tolomas, qui éclate fin 1754, début 1755⁴².

Il s'agit également, dans tous ces mémoires et dans ce livre, de mettre en évidence l'insuffisance des ouvrages sur la théorie des machines et de proposer un prolongement indispensable. L'objectif n'est donc pas la défense d'un système, mais une vision dialectique des relations entre la science et l'art (c'est-à-dire la technique) :

On s'est presque toujours contenté d'étudier la statique cest a dire d'examiner les Machines dans l'état d'équilibre pour juger si la puissance qu'on vouloit employer seroit au moins capable de contrebalancer les forces ou les poids contraires a son mouvement. On se contentoit de s'assurer qu'on pourroit produire au moins quelque effet ; Mais on pousoit rarement les recherches jusques a calculer leffet precis qu'on en pouvoit esperer. il est pourtant visible qu'il ne convient pas d'entreprendre l'exécution d'une Machine lorsqu'on ne sçait pas si le profit dedommagera de la depense ou de la peine quelle coute⁴³.

On note que la préface manuscrite ne fait pas la moindre allusion ni à Descartes ni à Newton. Il n'en est pas de même de l'imprimée, qui commence ainsi :

Le célèbre Nevvton donne, au commencement du livre des principes de la Philosophie, l'égalité entre l'action & la réaction, comme une des premières loix du mouvement. *Actioni contrariam semper & aequalem esse reactionem.*

C'est en suivant l'idée de ce grand homme, que j'entreprends aujourd'hui de prouver que la Dynamique & la Méchanique n'ont presque pas d'autre fondement ; & que ce seul principe bien développé est capable de conduire à la connoissance des efets du mouvement les plus difficiles à découvrir. (Mathon, *Nouveaux Elémens*, 1763, p. ii)

Pourtant, il n'existe pas, nous semble-t-il, de différence d'attitude de Mathon entre 1754 et 1763 : il y a longtemps qu'il considère le principe de l'action et de la réaction comme la base de la mécanique théorique. Suit, dans le livre, une réflexion sur l'inertie, la résistance et la force motrice, qui ne sont « qu'une manière [géométrique] d'exprimer les effets sensibles & extérieurs du mouvement & du repos en exécution des loix qu'il a plu au Créateur d'imposer à la matière » (p. vij)

Le corps du livre

Le livre imprimé comporte 22 chapitres, traitant des chocs des corps durs et à ressort (chap. I-II), du centre de gravité (chap. III), des mouvements accélérés (chap. IV), de l'équilibre (chap. V-VII), des systèmes à liaison, des centres de rotation et d'oscillation (chap. VIII-XI), d'autres systèmes à liaison (chap. XII-XV), des chocs simultanés (chap. XVI-XIX), des machines (chap. XX-XXI), enfin du principe du chevalier d'Arcy (chap. XXII). Les chapitres I-XVI se trouvent pour l'essentiel dans le manuscrit, mais avec d'importantes variantes et quelques manques. Le chapitre XXII correspond au mémoire lu en 1760, mémoire qui commente celui du chevalier

⁴¹ Voir Alfonsi, *Etienne Bézout (1730-1783), mathématicien des Lumières*.

⁴² Pour cette affaire, voir le site http://enccre.academie-sciences.fr/encyclopedie/enc_dossiers_thematiques.php#dossier_Tolomas (consulté le 04/04/2017). Voir aussi le chapitre VII de notre livre.

⁴³ Bossut fait une remarque analogue dans son *Traité élémentaire de mécanique et de dynamique* de 1763.

d'Arcy, lu à l'Académie des sciences de Paris et publié dans les volumes d'*Histoire de l'Académie royale des sciences* pour l'année 1747 qui paraissent en 1752. Ce que Mathon appelle le « principe de Dynamique de Mr. le chevalier d'Arcy », c'est ce que nous appelons maintenant la « conservation du moment cinétique » :

Ces moments sont les produits des distances ou des rayons vecteurs par la masse des corps & par leur vitesse. La somme de ces produits est donc la même avant & après le choc. (p. 128)

Il n'est pas question ici de donner une description même rapide des chapitres, nous nous limiterons à quelques remarques relatives à leurs liens éventuels avec les idées et résultats de Descartes et de Newton. Les lois du choc, chez Descartes, étaient presque toutes fausses et aucun des cartésiens, même le plus unilatéral, ne les défendait plus en 1760. D'autre part, l'ouvrage ne porte pas sur les tourbillons ni sur les mouvements soumis à des forces centrales, donc cette autre voie d'entrée dans les débats entre cartésiens et newtoniens est ici sans objet. Ici Mathon passe des objets de la mécanique newtonienne (en général céleste) à ceux de la dynamique (système à liaisons) ; il y a clairement une évolution chez lui, et ses travaux sur les machines n'y sont peut-être pas étrangers. En cherchant à dégager des éléments de dynamique, Mathon se situe nécessairement dans un contexte post-newtonien et, si ses principes et la trame de ses raisonnements doivent être comparés à ceux d'autres auteurs, ce doit forcément être à Euler, aux Bernoulli, à D'Alembert, à Clairaut. On notera qu'il admet la notion de force (p. 3, etc.), la proportionnalité de l'effet à la cause (p. 3), lié chez lui à l'égalité de l'action et de la réaction (p. 3-4), la règle du parallélogramme pour les mouvements composés (p. 4), la conservation de la quantité de mouvement algébrique (p. 5), l'extension de ce principe aux moments, c'est-à-dire une sorte de principe du levier (p. 13). Il se situe donc dans le cadre classique de la mécanique newtonienne, il ne rejette pas la notion de force (contrairement à D'Alembert), il ne suppose pas le principe de conservation des forces vives (contrairement aux Bernoulli). Cela lui permet de résoudre des problèmes de rotation et d'étudier sur les mouvements des systèmes à liaison. Mathon ne cite personne (à part d'Arcy) et ne vise aucunement à une discussion de système, il nous semble que pour lui cette question est dépassée. En fait, les frontières sont parfois très floues entre action-réaction et équilibre et lorsque Mathon parle d'une force opposée à la force motrice et qui l'équilibre on n'est quand même pas trop loin d'une interaction mécanique basée sur des destructions, comme chez D'Alembert. En fait, Mathon suit et est un protagoniste de l'évolution de la dynamique du XVIII^e siècle, s'attachant dans un premier temps à la mécanique céleste en suivant Newton, puis en traitant de la dynamique des liaisons toujours en appliquant les principes de la science newtonienne.

7. Les dernières interventions

A la fusion des deux académies, en 1758, Mathon passe vétérinaire. Il donne quelques exposés sur les langues ou sur les monnaies, mais il continue aussi ses recherches et ses rapports en mécanique. Malheureusement, nous ne disposons pas en général des textes eux-mêmes ; toutefois, les registres donnent des résumés suffisamment précis pour qu'on se rende compte des intentions et des résultats. Certaines interventions sont relatives à ses *Elémens de dynamique* de 1763 ou dans le prolongement de ce livre.

Le 15 juillet 1766, « M. Mathon a lu un Mémoire contenant des remarques sur la manière d'estimer les forces accélératrices ». Son objectif est d'élucider l'apparition d'un célèbre et mystérieux facteur 2 dans la détermination des forces centrales et des vitesses pour des mouvements courbes. Il pense que sa méthode alternative est « le vrai dénouement de la difficulté que de célèbres auteurs ont cherché à résoudre d'une autre manière, en introduisant la distinction entre les courbes rigoureuses & les courbes polygones ». Cette distinction figure déjà chez Varignon, elle est examinée en détail par D'Alembert dans le *Traité de dynamique* (1^{re} Partie, Chapitre II).

Le 8 mars 1768, il propose

une démonstration nouvelle, et adaptée aux principes établis dans cet ouvrage, du beau théorème que le célèbre P. Frisi notre associé, professeur de mathématiques à Milan, dit avoir démontré le premier en 1759.

Ce théorème est que le mouvement d'un corps agité par plusieurs forces, est tel que chaque point tourne autour du même axe, avec une vitesse composée de toutes celles avec lesquelles il tourneroit autour de différens axes par l'impression de chacune de ces forces, si elle agissoit seule./

Le 14 février 1769, Mathon commence « la lecture de son ouvrage annoncé le 24 Janvier dernier sous le titre de *Recherches sur l'Hydrodynamique*. Il avoit destiné ce Traité à servir de suite à ses Eléments de Dynamique publiés par l'impression en 1763 ». Le registre donne quelques pistes de son raisonnement, mais malheureusement, nous n'avons pas de suite à ce projet et nous ne savons pas ce que sont devenus les papiers scientifiques de l'auteur. Bien entendu, on est tenté de resituer cette ébauche dans le contexte, d'abord des traités de dynamique (1743), puis des fluides (1744) de D'Alembert, puis du *Traité d'hydrodynamique* de son disciple Bossut, en préparation dès le milieu des années soixante et qui paraît, suite à quelques péripéties, début 1771 et aborde souvent des problèmes théoriques et pratiques voisins. La parution de ce dernier ouvrage a-t-elle conduit Mathon à penser qu'il n'était plus utile de consacrer son énergie à ce sujet ? Nous ne le savons pas. De toute façon, les nombreux mémoires de l'auteur sur l'hydraulique, mentionnés plus haut, permettent d'entrevoir les idées qu'il aurait pu développer ; on le sent très proche de Bossut. Mais il va revenir sur des questions voisines en 1775.

Le 28 novembre 1769,

M. Matton chargé par la compagnie, de lire le nouveau traité de la gravité, qui lui a été envoyé par le P. Frisi, et de lui en rendre compte, a dit qu'il renfermoit sous la forme la plus lumineuse, non seulement tout ce qui avoit été écrit sur cette matière, mais encore plusieurs vues nouvelles et des découvertes intéressantes.

On notera à cette occasion que l'encyclopédiste milanais Paolo Frisi, grand admirateur de D'Alembert, correspondant de l'Académie des sciences de Paris, associé de celle de Lyon, envoyait des nouvelles et des ouvrages à cette dernière compagnie.

Après être intervenu le 12 mars 1771 par « un Discours sur les Moyens de rendre les Traités élémentaires plus aisés aux Commençans », où il propose des variantes du « traité du Jet des Bombes de M. de Maupertuis », puis le 12 novembre 1771 sur « un nouveau calcul de la distance de la terre au soleil », il revient le 24 janvier 1775 à l'hydrodynamique en lisant « un mémoire sur les forces d'une machine, mue par la réaction de l'eau », où il rappelle son exposé de 1769. Ce mémoire est publié dans le journal *Observations sur la physique* de l'abbé Rozier (1734-1793)⁴⁴. L'occasion de ce mémoire est une machine à réaction que Mathon évoque ainsi : « quelque temps après M. L'abbé Pupil, qui cherchoit au Bourg Argental le moyen de faire agir un ventilateur pour purifier l'air d'une grande salle, où deux ou trois cens jeunes filles sont occupées à faire de la dentelle, & ont besoin d'être délivrées de l'infection de l'air, & de la fumée de leurs lampes, saisit cette idée avec empressement » (p. 73).

Le 18 août 1846, l'étrange mathématicien Jean-Louis Bouchardat (1775-1848), associé de l'Académie de Lyon, devenu poète et ami de Jean-Baptiste Dumas, et apparenté à Mathon, lit à la séance de l'Académie la copie d'une lettre que Jacques Mathon de la Cour aurait adressée à Sartine, ministre de la Marine, en 1776 ou 1777, annonçant un procédé pour « faire naviguer en plein calme les vaisseaux de sa Majesté sans le secours des rames, et avec une vitesse ignorée jusqu'ici ». Bouchardat prétend que cela prouve la priorité de Mathon sur Jouffroy d'Abbans pour l'invention des bateaux à vapeur, mais l'Académie reste sceptique, car le mot « vapeur » n'est même pas évoqué dans la lettre.

⁴⁴ Mathon, *Essai du calcul d'une machine mue par la réaction de l'eau*, dans *Observations sur la physique*, t. 5, jan. 1775, p. 73-85 et t. 6, juil. 1775, p. 166-169.

8. Conclusion : Mathon et sa conception de l'activité scientifique

Nous avons donc tenté de suivre Jacques Mathon de la Cour dans son activité scientifique, afin d'entrevoir comment il se situait face aux débats entre « cartésiens » et « newtoniens » qui ont animé les années trente et quarante et ont continué à marquer de façon plus indirecte les physiciens dans les décennies cinquante à soixante-dix. Voici nos impressions.

Bien évidemment, jusque vers 1740, il existe un affrontement assez tendu et entretenu entre partisans ou soi-disant partisans de Descartes et de Newton. Les causes en sont multiples et nous renvoyons à l'Introduction de ce livre.

Mais, on le voit bien, pour des mathématiciens, astronomes et physico-mathématiciens comme Euler, D. Bernoulli, Clairaut, D'Alembert, Fontaine, etc., au-delà de leurs différences, voire de leurs positions diamétralement opposées quant aux liens entre théorie et pratique, quant aux options philosophiques et religieuses, il existe un certain consensus. Les méthodes de Newton, exprimées avec des notations mathématiques leibniziennes, sont plus efficaces pour résoudre les problèmes de mécanique du point, des solides ou des fluides, d'acoustique et d'optique, de gnomonique. Cela leur suffit pour bâtir un « système du monde », entendu surtout comme système solaire. Les tourbillons s'effondrent petit à petit. En revanche, pour ceux qui s'occupent d'autres phénomènes physiques encore mal expliqués (froid et chaleur, électricité, magnétisme, diffraction optique, chimie, etc.), l'affaire n'est pas réglée. Certains d'entre eux aiment s'aventurer dans les « systèmes », considérés comme hypothèses sur lesquels ils se montrent soit prudents soit au contraire prêts à suivre leur imagination. Or nous n'avons pas trouvé chez Mathon de mémoires sur l'électricité, les phénomènes à courte distance, il n'y a que de la mécanique, théorique *et* pratique. Ce savant nous semble se comporter comme les grands mathématiciens que nous venons de citer. Il est séduit par les 'vérités' physico-mathématiques, par le calcul et les moyens qui permettent de vérifier la validité d'une théorie, voire le fonctionnement des machines, comme Bossut. En revanche, il est peu motivé par les « systèmes », comme il le dit lui-même à plusieurs reprises, il cherche aussi à s'enrichir constamment par la curiosité intellectuelle et le débat. Ainsi, la validité des démonstrations mathématiques et leurs confrontations aux phénomènes doivent être les seuls éléments entrant en ligne de compte pour fonder une science (voir notamment l'Annexe II pour de telles positions).

Au demeurant, Mathon suit de près et accompagne l'évolution de la mécanique au cours du siècle en s'attachant, tout d'abord, à des sujets relevant de la mécanique newtonienne, puis en s'intéressant à la dynamique des systèmes et à l'hydrodynamique. Concernant la dynamique, il semble que la mécanique de Newton reste le cadre théorique de ses recherches. Ces deux dernières sciences donnent simultanément lieu chez Mathon à des développements théoriques, parfois en tant qu'éléments (le traité de 1763) – donc sous une forme simplifiée – et à des développements pratiques. Enfin, comme on l'a vu ci-dessus concernant la musique (avec un abrégé de la théorie de Rameau qui est « hors de la portée des commençans ») et la dynamique (le traité de 1763), Mathon vise souvent à expliciter ce qui est trop théorique et peu accessible à tous tout en ayant une exigence mathématique ; c'est aussi le cas de son exposé de la science de Newton (voir Annexe II).

Par ailleurs, pour Mathon, comme pour Christin, Delorme, Borde, Cayer, Valernod et la plupart des membres de l'Académie des beaux-arts de Lyon, l'activité scientifique doit allier la réflexion individuelle au travail collectif et cela ne doit pas se limiter aux relations entre titulaires de l'académie. Il faut entretenir un dialogue fécond avec les artistes, notamment les inventeurs de machines, avec les « amateurs », avec les savants éloignés qu'ils soient associés de l'académie ou non. Or les registres, les notes de ses mémoires, la correspondance académique fourmillent de traces des liens entre Mathon et de nombreux tels personnages. Par exemple, lorsque l'académie élit un associé, l'entremise ne se fait pas toujours par le secrétaire, c'est souvent un académicien particulier qui constitue le lien essentiel : ainsi l'abbé Cayer pour Jacquier et Le Seur, mais

rapidement Mathon pour l'abbé Stay proposé par Jacquier (lettre de Stay à Mathon, 17 juillet 1748, Ms 268-I, f. 282). Et il ne s'agit pas que de relations de politesse. Ainsi dans l'exemplaire de l'académie de Lyon de l'ouvrage de Savérien, *L'Art de mesurer sur mer le sillage du vaisseau* (1750), parvenu à l'académie par l'abbé Dugaiby (comme le montre la dédicace manuscrite au début de l'ouvrage), on trouve une feuille manuscrite de l'auteur, probablement envoyée à Dugaiby pour transmission à Mathon, commençant ainsi :

M. Saverien, très sensible à l'attention que Monsieur Mathon a eue d'examiner le Probleme qui est à la fin de son Traité du Sillage, à l'honneur de lui répondre [...]

Et on voit, en examinant la suite de la réponse, que Mathon a lu consciencieusement l'ouvrage de Savérien, lui a fait remarquer quelques fautes de calcul mineures, que Savérien reconnaît et attribue à une mauvaise entente avec l'imprimeur lors de la correction des épreuves.

Le lecteur nous pardonnera peut-être toutes ces incursions et tous ces détails un peu érudits, mais nous avons tenté, avec les moyens disponibles, de comprendre de l'intérieur les ressorts de ce que pourraient être les liens de Mathon avec Descartes et Newton. Nous ne prétendons pas y être parvenus.

Chapitre VI

Les dissertations sur la calcination, le magnétisme et l'électricité du père Béraud (1747, 1748, 1755)

1. Introduction

Le père Laurent Béraud (1702-1777) remporte le prix de l'Académie Royale des Belles Lettres, Sciences et Arts de Bordeaux en 1747 ayant pour sujet les raisons de l'augmentation du poids de certaines matières calcinées. L'année suivante, cette même Académie honore à nouveau une de ses dissertations portant sur le rapport entre les causes des phénomènes magnétique et électrique. La théorie de l'électricité contenue dans ce dernier mémoire figure dans la réponse apportée par Béraud à la question posée par l'Académie impériale des sciences de Saint Pétersbourg dans son prix de 1755 sur l'origine des phénomènes électriques, réponse non primée mais gratifiée d'un accessit¹. Ces différentes recherches contiennent de nombreuses références à des travaux expérimentaux et théoriques menés par des savants venant d'horizons philosophiques différents, qu'ils se réclament du mécanisme ou de la science newtonienne. Systématiquement, Béraud cherche la cause mécanique des phénomènes et ses explications prennent acte de la réforme de la science de Descartes initiée par Malebranche ; il recourt notamment aux petits tourbillons de matière subtile. Des comparaisons entre les travaux de Béraud et des pages des *Leçons de physique* de Privat de Molières attestent de cet héritage malebranchien ; Béraud s'appuie sur des travaux d'électricité de Jean Antoine Nollet et du savant genevois Jean Jallabert (1712-1768) en donnant aux fluides subtils dont ils se servent la forme de petits tourbillons. Mais, si ces derniers fournissent un cadre théorique général à Béraud, ça n'est pas à dire que le détail de ses explications physico-chimiques suit à la lettre celles de Malebranche ou de Privat de Molières, le savant gardant une originalité témoignant de la pluralité des formes du mécanisme.

Après avoir donné quelques éléments biographiques sur le savant, nous examinerons son mémoire sur la calcination et ses théories magnétiques et électriques en évoquant leurs rapports avec les travaux de Molières, Nollet et Jallabert sur ces sujets.

2. Quelques éléments biographiques

On connaît la citation de l'astronome Lalande, à propos du P. Béraud, dans sa *Bibliographie astronomique* (p. 576) : « ce fut à ses leçons en 1746, que je pris le goût de l'astronomie, dont je me suis occupé toute ma vie. Montucla, Fleurieu, Bossut (tous trois lyonnais), et plusieurs autres élèves distingués dans les mathématiques, déposent du mérite de cet habile professeur ». En effet, de 1740 à 1762, Béraud est professeur de mathématiques et directeur de l'Observatoire de Lyon. Tous les enfants des notables lyonnais, s'ils sont nés entre 1725 et 1745 à peu près, sont passés entre ses mains au collège de la Trinité et ils ont été marqués par son enseignement. L'intérêt que nous portons à ce savant ne doit pas se réduire à l'étude de ses travaux imprimés ou manuscrits, il doit aussi porter sur son rayonnement et sur la diffusion de son savoir et de ses méthodes.

Né le 5 mars 1702 à Lyon, il fait ses études chez les jésuites à Aix-en-Provence, entre au noviciat des jésuites à Avignon le 7 septembre 1717, puis enseigne à Vienne, à Avignon, enfin à Lyon à partir de 1740 année à laquelle il est nommé membre de l'ABA (voir Introduction). Il est nommé correspondant de l'Académie des sciences de Paris en 1751. Lorsque les jésuites sont chassés de l'enseignement en 1762, il reste deux ans à Lyon, avant de devoir quitter le royaume

¹ Laurent Béraud, *Theoria Electricitatis*. Le prix est remporté par Jean Albert Euler et Paolo Frisi reçoit aussi un accessit. Le père Lefebvre, *Eloge historique du père Béraud*, 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 ». Parce que la théorie de l'électricité développée par Béraud dans ce mémoire reproduit celle du prix de 1748 nous n'analyserons que cette dernière étude.

pour Avignon au moment de l'expulsion en 1764. Il revient ensuite chez des parents à Lyon où il meurt le 26 juin 1777. Il n'est pas question ici d'en donner une biographie ni une bibliographie détaillées. Le P. Lefebvre, oratorien, qui est devenu peu après Béraud directeur de l'Observatoire a publié un *Éloge historique du P. Béraud*, qu'il a lu dans l'Assemblée publique de l'Académie le 29 juin 1780. Ce texte de 47 pages donne un survol assez pertinent des multiples activités de ce savant. On trouvera dans le *Dictionnaire historique des académiciens de Lyon (1700-2016)* un répertoire de ses publications et manuscrits, qui est déjà en grande partie accessible dans Sommervogel, sans oublier dans les index du *Journal de Trévoux*, car les jésuites se sont beaucoup penchés sur les activités de leur frère en religion.

Dans la partie 4 de l'Introduction, nous avons consacré un paragraphe assez long aux travaux et idées de Béraud en astronomie, on l'y voit résolument partisans des méthodes de Newton ; cet aspect est confirmé par l'Annexe IV rendant compte de la lecture critique de Béraud du livre de Fontenelle la *Théorie des tourbillons* de 1752. Le chapitre suivant montre un aspect tout à fait différent de la pensée physique du personnage.

3. Béraud et la calcination des métaux

La recherche sur les causes de l'augmentation du poids observée expérimentalement de certaines substances après leur calcination vient interroger la nature du feu. Comme évoqué dans l'étude sur Lozeran du Fesc (voir Chapitre III), l'article « Feu » de l'*Encyclopédie* se fait l'écho des réflexions et divisions des « Philosophes » à ce sujet, certains assimilant le feu à une substance particulière d'autres à la forme prise par la matière mise en mouvement. Pour des savants tels que Pierre van Musschenbroek (1692-1761) et Louis Lémery (1677-1743), notamment, « le feu est un corps particulier qui s'insinue dans les autres » et qui ainsi « augmente leur poids »². D'autres physiciens comme Hermann Boerhaave (1668-1738) nient ce poids du feu³. D'autres pensent 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 », cette « opinion [étant] soutenue avec esprit dans une dissertation moderne » en l'occurrence la Marquise du Châtelet ayant concouru au prix de l'Académie royale des sciences de 1738 sur la nature et la propagation du feu⁴.

Cette question de l'augmentation du poids fait l'objet du prix de l'Académie de Bordeaux de 1747 remporté par Béraud. Ce dernier rapporte que le feu divise et dissipe les parties des corps qui doivent donc perdre par son action « beaucoup de leur substance, & conséquemment doivent diminuer de poids : cependant l'expérience fait voir le contraire dans certaines matières »⁵. Béraud mentionne 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

² « Feu », *Encyclopédie*, t. VI (1756), p. 600a-600b. Pour un compte rendu de cette question de la calcination en lien avec différentes théories du feu, voir Bernard Joly, « La question de la nature ».

³ *Ibid.*, p. 601a.

⁴ *Ibid.* Pour un compte-rendu des prix couronnés par l'Académie de L. Euler, Lozeran du Fesc, le Comte de Créquy, et des mémoires de Voltaire et de la Marquise du Châtelet ayant participé au concours, voir Joly, « La question de la nature du feu », p. 50-55 et Joly, « Les théories du feu de Voltaire et madame du Châtelet ». 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 », Marquise du Châtelet, *Dissertation sur la nature & la propagation du feu*, p. 120. Pour la Marquise du Châtelet, « toutes les expériences dans lesquelles on a cru le [feu] trouver pesant, ne doivent rien prouver » ; « le Feu ne pese point, ou s'il pese, il est impossible que son poids soit jamais sensible pour nous », *ibid.*, p. 106 et p. 110.

⁵ Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 1

⁶ *Ibid.*, p. 1-5. Béraud évoque « M^r. Boyle de *flamma ponderabilitate* » à savoir *New experiments to make fire and flame stable and ponderable, et Additional experiments* ; Lémery, *Cours de Chymie*, notamment p. 123 pour l'étain et p. 143 pour le plomb ; Molières, *Leçons* ; les expériences de Samuel Cottereau Duclos d'après ce qu'en rapporte Duhamel, *Regia Scientiarum Academia Historia*, p. 13-14 ; Boerhaave, *Elémens de Chymie*, t. I, p. 372-375 ; Musschenbroek, *Essai de Physique*, t. I, p. 469-471 ; Homberg, *Suite des essais de chimie. Article troisième*, p. 94-95. Les expériences de Boerhaave montrent que la calcination du fer ne provoque pas d'augmentation de pesanteur.

matière ? »⁷ Les réflexions de Privat de Molières, citées par Béraud, permettent de contextualiser la réponse apportée par ce dernier à cette question.

3.1 La solution proposée par Privat de Molières

Dans ses *Leçons de physique* (1733-1739), 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 »⁸. 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 pas du combustible (bois, charbon)⁹. Pour Molières, 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 »¹⁰. D'où cette idée avancée par certains auteurs que la matière qui transmet la chaleur et la lumière pèse et qu'elle peut se condenser dans les pores de certains corps calcinés (p. 158-159).

Mais, selon Molières, ces chimistes « ne devoient-ils pas au moins [...] constater par quelque expérience sensible, ce poids prétendu des rayons du Soleil ? » (p. 160). Ainsi, cette matière 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 [où se meuvent les planètes] qu'occupe la lumière [...] ne faisait 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 pesanteur¹¹. Le « vuide » pour Newton correspond chez Molières à l'éther qui remplit tout l'espace, qui ne résiste pas et qui tout en étant la cause de la pesanteur ne pèse pas¹².

Par ailleurs, 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. En effet, l'éther est le « véhicule » de la lumière et de la chaleur et 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 »¹³. 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

⁷ Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 5.

⁸ Molières, *Leçons*, t. III, p. 155. Une interprétation « assez largement partagée » au tournant des XVII^e et XVIII^e siècles : telles sont les positions notamment de Nicolas 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 », 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 réflexions*, p. 410. L. 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, prouve 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. *A contrario*, Molières critique cette méthode selon laquelle « il suffisoit d'avoir remarqué que ces effets [ceux produits par les corps calcinés] avoient quelque relation à ceux que le feu produit communément, sans qu'on sache comment, ni qu'on soit obligé de le dire ; cela suffisoit, dis-je, pour rapporter tous ces effets à cette cause », Molières, *Leçons*, t. III, p. 160.

⁹ Molières, *Leçons*, t. III, p. 157. Lémery évoque aussi le même argument, l'usage du « verre ardent » interdit d'attribuer l'augmentation de poids aux « acides du bois & du charbon » qui ne servent pas ici de combustible, voir L. Lémery, *Conjectures et réflexions*, p. 402-403. Ceci figure aussi chez Homberg, que Lémery mentionne dans son mémoire, Homberg qui rapporte ses expériences de calcination du « regule de Mars » (de l'antimoine) 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, voir Homberg, *Suite des essais de chimie. Article troisième*, p. 94-95. Pour ce même argument, voir Musschenbroek, *Essai de Physique*, t. I, p. 470.

¹⁰ Molières, *Leçons*, t. III, p. 157-158.

¹¹ *Ibid.*, p. 161-162. Pour ces propositions chez Newton, voir Newton, *Principes mathématiques*, t. I, p. 413-427.

¹² Molières, *Leçons*, t. I, p. 309-404 aborde la question de « l'insensible résistance » de l'éther.

¹³ Molières, *Leçons*, t. III, p. 162-163.

fréquentes et transmises simultanément en plus grand nombre (p. 163-164). 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, toute la « Phisique générale » de Descartes, Huygens, Malebranche se voit renversée, et les « Chimistes », pour rendre raison d'un seul « effet particulier [l'augmentation de la pesanteur de matières calcinées] anéantiront d'un seul coup le travail de cent années » (p. 165). En somme, l'espace rempli d'éther ne serait ainsi plus homogène ce qui entraînerait des singularités dans les phénomènes physiques.

Molières qualifie alors ce feu de « pure chimere » (p. 167) faisant partie de ces « principes imaginaires » dignes des « qualités occultes » des Anciens (p. 168)¹⁴. La « matière ignée » est infondée et 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 relevant du mécanisme des petits tourbillons. Il souligne 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. » qui lors de la calcination peuvent se déposer sur la matière soumise au feu¹⁵. Ainsi, l'air qui se compose de petits tourbillons contient dans ses pores des tourbillons d'eau qui sont la cause de la dissolution du sel de tartre (carbonate de potassium) exposé à l'air libre ; par analogie, l'air apporte aux matières calcinées des particules qui expliquent l'augmentation de leur pesanteur¹⁶.

Tout d'abord, qu'on place un « grain de sel » dans l'eau, 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 (p. 421). Ces dernières se voient alors entraînées autour des superficies des molécules d'eau qui, animées de mouvements circulaires et en contactes les unes avec les autres, transportent des parties du sel « dans tous les intervalles que les petits tourbillons laissent entre eux » (p. 421-422). Le sel se répand avec « uniformité » dans « toute l'étendue de l'eau » car si un tourbillon d'eau se charge davantage qu'un autre il circule moins vite et sa force centrifuge diminue rompant ainsi l'équilibre du milieu : les tourbillons voisins s'agrandissent sous l'action de leurs forces plus grandes et lui enlèvent la quantité surabondante de particules jusqu'à un retour à l'équilibre (p. 426-427). En supposant maintenant le sel de tartre à l'air libre, au niveau de l'air en contact du sel, les tourbillons d'eau se chargent de molécules de sel et, devenant davantage pesantes, les tourbillons d'air ne les portent plus, les gouttes se détachent et tombent dans le vase contenant le sel. A mesure que cet air se décharge d'eau, il reçoit de nouvelles molécules d'eau provenant des tourbillons voisins d'air, et ce du fait des mouvements circulaires des tourbillons d'air qui contribuent à rendre uniforme ce fluide suivant le même mécanisme assurant la répartition homogène d'un sel dissout dans l'eau. A nouveau l'air voisin du sel se décharge d'eau qui tombe sur le sel et le processus se renouvelle. Cette explication ne fait 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 » : Molières précise

¹⁴ Une telle dénonciation peut viser le feu élément de Boerhaave, la conception newtonienne de la lumière entrant dans la composition des mixtes et justifiant leur activité, mais aussi la chimie de Homberg qui diffère du mécanisme cartésien ; concernant ces deux derniers points voir Principe, « Wilhelm Homberg et la chimie de la lumière ». Pour Homberg la matière de la lumière se compose du soufre principe, lequel combiné avec un combustible produit le feu sensible. Ce soufre est la seule substance active de l'univers, s'introduisant dans les autres principes, les changeant de figures, poids ou volumes, les joignant pour former les mixtes, voir Principe, « Wilhelm Homberg : Chymical Corpuscularianism », p. 535-556 et « Wilhelm Homberg et la chimie de la lumière ». Joly souligne que « loin de s'opposer à la tradition alchimique, la chimie mécaniste du début du XVIII^e siècle y puise volontiers son inspiration », Homberg inscrivant ainsi sa classification des sels dans « la théorie des cinq éléments principaux de la tradition française des 'Cours de chymie' », voir Joly, « L'anti-newtonianisme dans la chimie française », p. 216-217.

¹⁵ Molières, *Leçons*, t. III, p. 150.

¹⁶ Comme remarqué dans l'examen des mémoires de Lozeran du Fesc (voir Chapitre III), les savants adeptes des petits tourbillons considèrent que les fluides et liquides sont composés par ceux-ci. Privat de Molières considère l'air comme un amas de petits tourbillons avec en leur centre un corps dur et composés d'autres tourbillons plus petits sans corpuscules ; en ajoutant à cette structure un corpuscule au centre de ces derniers tourbillons, l'ensemble forme l'eau. Voir Molières, *Leçons*, t. II, p. 249-254.

ne pas recourir ici à « un autre principe qu'à celui de l'impulsion » critiquant le « grand mot d'Attraction qui étonne : mais qui n'éclaire point », attraction utilisée par Newton et Boerhaave¹⁷.

En supposant maintenant du plomb chauffé dans un récipient, le feu « éloigne & chasse » les molécules d'eau des pores de l'air qui ne « soutiennent » alors plus les matières « 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 des tourbillons d'air, que ces derniers deviennent plus grands et qu'alors « leur vertu dissolvante aura diminué » 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 »¹⁸. Ainsi, la chaleur provoque un « éloignement » de l'eau et une augmentation de la taille des tourbillons d'air, car ceux-ci sont davantage agités à cause du feu, ils possèdent donc plus de vitesse et ainsi plus de force centrifuge ce qui les agrandit et finit par diminuer leurs forces ; ils perdent alors « leur vertu dissolvante » c'est-à-dire la capacité à entraîner des matières solides lesquelles finissent par choir. Ce feu rompt donc un équilibre au sein de l'air, rupture qui fonde l'explication de l'augmentation de la pesanteur ; Béraud propose un mécanisme proche de celui de Molières.

3.2 L'explication de Béraud dans le prix de 1747

Les thèses réfutées

Tout d'abord, Béraud récuse que des « parties ignées » puissent être la cause recherchée. Estimant 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, Béraud souligne que cette dernière « ne s'est point encore manifestée par aucun effet sensible »¹⁹. 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 » (p. 9)²⁰. 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 »²¹. 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 continuel 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 (p. 10).

¹⁷ Molières, *Leçons*, t. III, p. 146-153. Pour cette réaction, Newton évoque « une attraction entre les particules du Sel de Tartre, & les particules de l'eau qui flottent dans l'air ». Voir Newton, *Traité d'optique*, p. 536. Sur l'évocation d'une « force attractrice » pour ce phénomène, voir Boerhaave, *Elémens de Chymie*, t. I, p. 476-477.

¹⁸ Molières, *Leçons*, t. III, p. 175-176.

¹⁹ Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 9.

²⁰ 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 ». Il s'agit du mémoire de la Marquise du Chatelet participant au prix de 1738 ; la dissertation proposée par Voltaire s'intitule *Essai sur la nature du feu et sur sa propagation*.

²¹ Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 9.

Cette conception, bien que Béraud ne le mentionne pas, correspond à celle rencontrée chez Lozeran du Fesc (voir chapitre III). Or, 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 (p. 10-11)²².

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 ? » (p. 11). Par ailleurs, Béraud mentionne de nombreux faits expérimentaux qui semblent contredire que le feu s'insère dans ces matières et infirmer qu'il puisse causer augmentation de pesanteur²³. Enfin, 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 « atténuées & subtilisées par l'extrême vitesse des petits tourbillons de feu, [...] 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 différemment²⁴.

Quelle que soit l'hypothèse 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 Privat de Molières, utilisant des mots semblables : selon Béraud, les « Chimistes » s'appuient sur la matière lumineuse pour expliquer « un fait particulier », cette augmentation de poids, mais cette matière « entre essentiellement dans la disposition & la combinaison de [l']Univers ; c'est l'ame du Système du monde entier » et les propriétés qu'on lui attribue – condensation, pesanteur – sont contraires à « l'arrangement » de l'univers ; en lui supposant de telles propriétés, « tous les Systèmes qu'on a imaginé jusqu'ici sont renversez » (p. 16). Concernant le système du « Plein » où la propagation de la lumière résulte du « seul

²² Lozeran n'évoque pas la pesanteur du feu dans son mémoire (voir chapitre III).

²³ Ainsi, le feu qui serait inséré dans les métaux calcinés « n'éclaire pas » et « n'échauffe pas », et y est donc sans ses propriétés, 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'environne », voir Musschenbroek, *Essai de Physique*, t. I, notamment p. 472. Puis, le plomb en fusion devrait « contenir » bien plus de « parties » du feu que ce même métal à l'état de chaux, mais le premier pèse moins : soutenir que le plomb calciné ait plus de parties du feu reviendrait à dire qu'à mesure qu'il se refroidit au point d'être à la température de l'air il reçoit plus de « parties ignées » et qu'à mesure qu'elles entrent le métal se refroidit, qu'en se refroidissant « il se charge d'un nouveau feu » ; « ne sont-ce pas là autant de chimères ? » On pourrait affirmer que quoique le « Plomb fluide » renferme plus de feu il pèse moins parce que lors de sa fluidité « le feu dissipe une grande quantité de ses [au plomb] souffres & de ses sels ». Mais Musschenbroek a montré que le métal acquiert son plus grand degré de chaleur non lorsqu'il est seulement fondu mais rougi : c'est là que le feu agit le plus et donc devrait le plus dissiper les souffres et les sels ; le métal devrait ainsi perdre de sa pesanteur mais c'est pourtant à ce moment qu'il reçoit du poids puisque la chaux pèse davantage que le métal fondu. Voir Musschenbroek, *Essai de Physique*, t. I, notamment p. 456. Boerhaave, *Elémens de Chimie*, t. I, p. 372-375 montre en expérimentant avec le fer que l'augmentation de poids est nulle ; même constat toujours sur du fer pesant « depuis une livre jusqu'à 2000 livres » avec les expériences rapportées dans les « Pièces qui ont remporté le prix Tom. 4. pag. 102 » à savoir le mémoire de la Marquise du Châtelet, *Dissertation sur la nature et la propagation du feu*, p. 104. Puis, si en chauffant 20 livres de plomb on obtient 25 livres de chaux, en redonnant à la chaux de plomb son premier état de plomb par l'action du feu, de 25 livres de chaux on ne retire que 19 livres de plomb : une « même cause » produit des « effets contraires » et cette nouvelle action du feu devrait aussi ajouter en pesanteur, pour ces expériences, voir Lémery, *Cours de Chimie*, p. 143-144 et Molières, *Leçons*, t. III, p. 156-157. Par ailleurs, les mêmes corps calcinés à l'air libre reçoivent une plus grande augmentation de poids que lors d'une calcination dans « un vase de verre bien fermé », or le feu pénètre le verre et il en faut autant pour calciner dans ces deux circonstances. Enfin, une « once » d'étain calcinée à l'air libre augmente d'une « dragme » tandis que 8 onces dans un récipient en verre augmentent seulement de 18 « grains » bien qu'il soit clair que 8 onces reçoivent davantage de feu que 1 seule ; sur ces deux dernières expériences, voir Boyle, *New Experiments and Additional experiments*, p. 711, p. 716-717 et p. 718. Pour tous ces éléments, voir Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 11-15.

²⁴ Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 15. Béraud 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 grossière », il se produit « des augmentations de poids [...] à peu près les mêmes ».

mouvement de vibration » de l'éther (p. 16)²⁵, 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 »²⁶. En somme, l'idée d'une « condensation » détruit le système du plein. Dans l'hypothèse du « Vuide », la matière transmise par la lumière s'avérerait extrêmement pesante (p. 18-20)²⁷ 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 pesante²⁸.

Comme Molières, Béraud fait ici référence aux propositions des *Principes mathématiques* de Newton relatives à l'impossibilité du mouvement des astres dans le plein cartésien. La fin de la citation montre que Béraud considère que l'absence de résistance implique une matière sans pesanteur mais pas nécessairement une absence de matière : il rejoint ici une thèse notamment défendue par Molières, et cette citation s'avère proche des propos de ce dernier lorsqu'il évoque Newton pour lequel l'espace où se propage la lumière ne résiste pas. La lecture de Newton conduit Béraud à soutenir que le savant anglais juge la lumière de nature corporelle tout en ne lui conférant pas de pesanteur. Tout d'abord, Béraud observe que Newton « semble douter » dans la « Scholie de la Prop. 96. L. I. [livre 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 »²⁹. Puis Béraud ajoute que Newton dans sa Proposition 40 du Livre II « explique sa pensée » : Newton écrit que les espaces célestes dans lesquels les planètes et les comètes se meuvent sans cesse librement sans 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 »³⁰. Béraud commente alors que pour Newton « ces vapeurs & ces rayons [...] sont donc 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 »³¹. Ces évocations de l'éther newtonien se retrouvent dans la critique que fait Béraud du livre *Théorie des tourbillons* de Fontenelle (voir Annexe IV).

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

²⁵ Béraud évoque ici les théories de Descartes, Malebranche et Jean (II) Bernoulli. Bien qu'il ne précise par les ouvrages, il s'agit pour le premier des *Principes de la philosophie*, pour Malebranche de *De la recherche* (*Œuvres*, t. III, *Eclaircissement XVI*) de 1712 et pour Bernoulli de *Recherches Physiques et Géométriques*.

²⁶ Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 17-18.

²⁷ Les « 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, 1 toise carrée il tombe alors 16 dragmes et demie. Connaissant le rayon terrestre et donc la demi-surface de la terre, Béraud calcule que cette dernière recevrait en 24h un total de 207708197307180 livres. Pour l'expérience d'Homberg, voir *Suite des essais de chimie. Article troisième*.

²⁸ Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 20.

²⁹ Newton, *Principes mathématiques*, t. I, p. 239-240.

³⁰ *Ibid.*, p. 393.

³¹ Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 20. Un autre argument contre la pesanteur de la lumière s'appuie sur sa vitesse. L'astronome Roëmer a observé à partir des satellites de Jupiter que la lumière mettait 8 minutes pour parcourir la distance Soleil-Terre. Puisque cette distance vaut 11000 diamètres terrestres, en une seconde les rayons parcourent 898965375 pieds de Paris. Or un boulet de canon d'un livre poussé par une demi-livre de poudre donne une vitesse de 600 pieds/s ; la vitesse de la lumière est de 1500000 fois plus grande. « Si on suppose que chacun des rayons qui ont fait le poids de 3. dragmes, dans l'expérience de Mr. Homberg [à savoir l'augmentation de poids de 3 dragmes lors de la calcination de 4 onces d'antimoine], ne soit que $\frac{1}{11705}$. d'une dragme, ou $\frac{1}{1500000}$ environ d'une livre, chacun de ces rayons eu autant de force en tombant sur la terre, que le boulet de Canon ; car alors les rayons & le boulet ont leur masse en raison reciproque de leur vitesse », *ibid.*, 20-21.

l'air en soulignant l'énorme compression que cela requiert³². Enfin, cette augmentation ne saurait provenir de « particules détachées, par l'action du feu, des vases où se fait la calcination »³³.

L'explication de Béraud

La véritable cause de l'augmentation du poids lors de la calcination « provient des Corps étrangers répandus dans l'air, qui par l'action du feu se réunissent aux parties des Corps calcinez »³⁴. 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 aussi 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 second (p. 25-26)³⁵. Bien que de telles vapeurs ne contribuent pas à l'augmentation du poids lors 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 sur la même analogie que Molières pour fonder la possibilité que l'air apporte des corpuscules aux corps calcinés³⁶. 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 » (p. 29). En 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 rarefié 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 leger, s'éleve aussi-tôt en haut, poussé par une couche d'air plus pesante qui lui succède : Cette seconde couche d'air

³² En citant cet exemple qui apparaît dans Molières, *Leçons*, t. III, p. 157, Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 5 renvoie à Molières. Un « pied cubique d'air » pèse « une once & deux gros » comme l'a trouvé l'abbé Nollet ; dans ces conditions, 5 livres d'air correspond 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 devrait plutôt suivre le rapport 27648 à 1). Béraud s'interroge alors sur les raisons pour lesquelles 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 faisait dans le « Plomb solide ». Au demeurant, la chaleur contribue bien plus à « raréfier » l'air qu'à la « condenser », *ibid.*, p. 22-23. Voir Nollet, *Leçons*, Paris, t. III, p. 198.

³³ Tout d'abord parce que les vases dont on se sert ordinairement n'ont tout simplement pas un poids égal à ces augmentations et, s'ils l'avaient, ils seraient « réduits à rien ». Ensuite, parce que Boyle a brûlé les plats et récipients servant à la calcination en montrant qu'ils pèsent davantage après calcination. Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 23-24. Voir Boyle, *New Experiments et Additional experiments*, notamment p. 711-712.

³⁴ Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 24.

³⁵ Voir Boerhaave, *Elémens de Chymie*, t. I, p. 473-475. 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 où « Mr. Gould » montre que l'huile de vitriol « purgé parfaitement de tout phlegme » se charge « de parties d'eau » au point que l'huile puisse doubler son poids. Voir Gould, *Experimenta*.

³⁶ Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 26-27. Sur la « présence » et la quantité des exhalaisons qui ne se manifestent pas aussi « sensiblement » que les vapeurs, Béraud note que comme toutes les eaux exhalent des vapeurs, de même 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 », ou encore que sont « les sels aériens qui fertilisent les terres », *ibid.*, p. 27-28.

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 (p. 31)³⁷.

Un tel système s'avère conforme à plusieurs expériences. Ainsi Nicolas Hartsoecker (1656-1725) voit « voler quelques petits flocons de cendre sur la superficie de l'Or [soumis à la fonte], qui tout à coup se fondoient & disparaissent » : Béraud identifie ceux-ci aux sels et sulfures aériens détachés de l'air. L'académicien des sciences parisien Etienne François Geoffroy (1672-1731) lors de la fonte de l'étain placé au foyer du « 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 sulfures aériens ? » Béraud évoque aussi des observations de Samuel Cottureau Duclos (1598-1685) 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 souligne 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 Duclos, 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, et forment ces filaments dont la réunion explique le surcroît de pesanteur (p. 31-32)³⁸. 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 »³⁹.

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 que 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 des thèses 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 ; le refus de cette « vertu attractive » concerne aussi l'explication de l'augmentation du poids du sel de tartre qui est basée chez Newton et Boerhaave sur des forces attractives. Béraud se place indéniablement dans le système du plein et des actions par contact. Si les 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 (p. 27). Par ailleurs, Béraud place explicitement ses explications des phénomènes magnétique et électrique dans le cadre de la théorie des petits tourbillons et introduit ceux-ci en tant qu'ils permettent justement de rendre compte de l'élasticité de l'éther ; il pourrait en être de même de l'air. Enfin, Béraud fait sien la conception du feu proposée par Lozeran du Fesc elle-même fondée sur ces tourbillons.

³⁷ Notons que la répétition d'un tel processus assure que, par exemple, ce supplément de 5 livres au 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^{ème} partie de matière solide car, autrement, la pesanteur absolue de l'air ne proviendrait que de ces matières solides et l'air en soit ne pèserait donc pas ; 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.

³⁸ Pour les auteurs évoqués par Béraud, concernant Hartsoecker, voir *Sur la vitrification de l'Or*, p. 30-31 ; Geoffroy, *Expériences sur les Métaux*. Pour Duclos, voir Duhamel, *Regia Scientiarum Academiae Historia*, p. 14.

³⁹ Béraud, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids*, p. 33-34.

4. Les phénomènes magnétiques dans le prix de 1748

Pour Molières et Béraud, la théorie magnétique s'écrit tout d'abord contre Descartes et les « cartésiens ». Les critiques dénoncent le recours à des corpuscules aux figures particulières non justifiées et l'impossibilité d'une 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, la « matière magnétique ». Aussi ce dernier émet-il des réserves sur la théorie de Molières et complète d'une certaine manière le développement lacunaire de cette théorie. Béraud propose une théorie où les phénomènes s'interprètent à l'aide d'atmosphères magnétiques de densités différentes composées de petits tourbillons, ces différences de densités constituant « le principe de tous les Phénomènes de l'Aïman » selon le savant.

4.1 Les critiques contre Descartes et les « cartésiens » : Molières et Béraud

Lorsque Molières propose une « nouvelle explication du magnétisme »⁴⁰, 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 la circulation des « parties cannelées », à savoir des parties du premier élément⁴¹. 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 (art. 91, p. 155)⁴². 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 de matière et qu'il donne ainsi naissance à une planète, cette matière subtile peut circuler dans les pores de cette croûte 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 (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'écrouté d'une vis » dans des sens différents et ceci à cause de la forme des parties cannelées (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 cannelées qui migrent dans le sens opposé : certaines « retournent de tous costez » vers l'hémisphère nord d'où elles viennent, se meuvent à nouveau dans les pores où elles sont 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 ; un même type de circulation affecte l'astre dans le sens opposé (art. 108, p. 164-165). Par cette double circulation des parties cannelées dans les pores, « toute la masse de la Terre est un ayman » (art. 133, p. 271) ; les propriétés de l'aimant s'expliquent en effet par ce double flux autour de la Terre.

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 ces pores ; *a contrario*, pour l'aimant, ces « pointes » demeurent dans une même

⁴⁰ Molières, *Leçons*, t. III, p. 355.

⁴¹ Sur la formation de ces parties cannelées et leur forme, Descartes, *Principes de la philosophie*, art. 87 à 93, p. 152-156. Rappelons que pour Descartes trois éléments composent la matière de l'univers.

⁴² 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.

« situation » (art. 138 et 139, p. 274-275)⁴³. 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 ajustez à leur mesure, qu'elles y passent sans aucun empeschement » (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 (art. 152-153, p. 286-287). Il se crée ainsi deux circulations de sens opposés d'un pôle à l'autre.

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 » (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 ayants » (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 » (art. 154, p. 288-289), d'où la répulsion. 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 dépend de la matière cannelée associée à ces aimants qui se « poussent » mutuellement et qui peuvent aussi pousser cette limure en « faisant effort pour passer entre [ses] pores » (art. 179, p. 302-303)⁴⁴.

Cette théorie repose donc sur des configurations particulières de certaines matières – des pores/canaux conçus comme des écrous, des parties cannelées dont la forme correspond à ces conduits – et sur une 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 rendent manifeste la disposition de la limaille de fer ; ces « poussées » expliquent aussi des phénomènes d'attraction-répulsion. Des savants tels que Jacques Rohault (1618-1672) et Pierre-Sylvain Régis (1632-1707) suivent les explications de Descartes⁴⁵. Un savant comme Charles François de Cisternay Dufay (1698-1739) 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 imagine aussi des « poils » dans les pores de l'aimant qui permettent le mouvement de la matière subtile dans un seul sens⁴⁶.

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 »

⁴³ Pour l'acier, les « petites pointes » dans les canaux « ne s'y renversent pas si aisément d'un costé sur l'autre, qu'ils sont dans le fer ». Par ailleurs, « ces conduits ne sont point tous tournez, ny dans l'acier ny dans le fer, ainsi qu'ils sont dans l'aymant » : 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 costé », de même pour ceux où circulent les parties cannelées venant du pôle opposé, *ibid.*, art. 144, p. 279.

⁴⁴ 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.

⁴⁵ Voir Rohault, *Traité de Physique*, p. 205-236 ; Régis, *Système de philosophie*, t. III, p. 448-487.

⁴⁶ Dufay, *Observations sur quelques Expériences de l'Aimant ; Suite des Observations sur l'Aimant ; Troisième Mémoire sur l'Aimant*.

particulières attribuées à la matière : des critiques contre les « mouvemens inconcevables » et « les figures imaginées à plaisir »⁴⁷, de tels systèmes rendant impensables la permanence du mouvement et ces « cartésiens » attribuant gratuitement des formes aux corps⁴⁸. 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 »⁴⁹. 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 dans rien perdre de leur vitesse (p. 362-363). Il entend expliquer plus « simplement » les phénomènes magnétiques sans recourir à ces mouvements.

Cette nécessité d'une simplification ressort aussi du propos de Béraud qui dénonce « le nombreux attirail d'instrumens inutiles » de Descartes ou les « différens ressorts » de ce système, en particulier « 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 oposez, se rencontrent & se choquent »⁵⁰. Il remarque aussi, en reprenant le propos que Molières, que même sous l'hypothèse d'un tourbillon simple la constance d'une vitesse de circulation reste difficilement pensable (p. 8).

La critique d'une impossibilité d'un mouvement en tourbillon autour de l'aimant s'appuie aussi sur des données expérimentales, essentiellement tirée de travaux de Pierre Le Monnier (1675-1757) 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 représentant le mouvement de la matière subtile, 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 l'aimant quel que soit le pôle qui lui est présentée. Le tourbillon possédant des mouvements contraires à chaque pôle, la limaille ne devrait donc pas suivre le même sens⁵¹.

4.2 Le magnétisme chez Molières

Molières évoque « les particules de la matière magnétique » remplissant les pores des corps leur donnant des propriétés magnétiques⁵². La disposition que prend la limaille de fer autour d'un aimant montre « une atmosphère qui l'environne » (p. 364) : 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 » ; les particules magnétiques ne possèdent pas la vertu de s'attirer « mais simplement celle de se diriger l'une vers l'autre ». Molières oppose aux circulations de matières magnétiques

⁴⁷ Molières, *Leçons*, t. III, p. 408.

⁴⁸ Des éléments des théories de Descartes et de Dufay tels que rapportés ci-dessus figurent dans Molières, *Leçons*, t. III, p. 358-363 et Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 7-8. Molières ne nomme que Descartes, Béraud mentionne Descartes et Dufay.

⁴⁹ Molières, *Leçons*, t. III, p. 358-359.

⁵⁰ Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 8.

⁵¹ *Ibid.*, p. 8-9. Voir Fontenelle, *Sur l'aimant*, p. 16-17.

⁵² Molières, *Leçons*, t. III, p. 366-367.

une atmosphère à l'intérieur et à l'extérieur d'un corps composée de particules immobiles (p. 366-368).

Ces particules prennent des orientations privilégiées du fait de la circulation de l'éther au niveau d'une planète, lequel « sort du côté des poles » et rentre « du côté de l'équateur », et cet éther doit entraîner « plusieurs petits corps ronds & solides » pénétrés selon cette direction qui se répandent « de toutes parts dans l'air qui environne la Terre ». Ces « corps » correspondent à la matière magnétique et se voient entourés 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 dernières, 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 (p. 412-417).

Pour Molières, un corps suspendu par un fil dans un « fluide élastique » tel que l'air et 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. Ces deux points définissent la « cause générale » de l'attraction et de la répulsion magnétiques (p. 370-371). Molières ajoute que lorsque des corps se repoussent « leurs atmosphères sont comme deux especes de liqueurs qui ne se mêlent pas ensemble », à l'instar l'eau et de l'huile (p. 375) ; ils s'attirent quand « ces atmosphères se mêlent facilement l'une avec l'autre » comme par exemple deux huiles (p. 378-379). Dans le premier cas, les atmosphères de deux aimants qu'on approche l'un de l'autre « s'applatiront » au niveau de la zone comprise entre ces aimants qui n'occuperont plus parfaitement les centres de leurs atmosphères : « ensuite ces atmosphères tendant à reprendre la forme sphérique par l'action comprimante du fluide environnant » font s'éloigner ces aimants qui retrouvent le centre de leurs atmosphères (p. 376-378). Inversement, si les atmosphères de deux aimants rapprochés se mêlent facilement, elles en forment une « longue ou ovale, mais qui tendra ensuite à s'arrondir peu à peu par l'effort élastique du fluide environnant » entraînant le rapprochement des aimants (p. 378-379).

4.3 Sur l'usage des atmosphères

Molières évoque ce « principe » qui est « reconnu de tous les Philosophes » consistant en ce que la Terre possède une atmosphère diminuant en densité à mesure de l'éloignement de sa surface, ce qui conduit à « 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 parties* »⁵³. 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 » (p. 519).

Pour de nombreux savants les phénomènes optiques, magnétiques et électriques font appels à des modifications locales des densités de l'éther dues à la seule présence de corps solides. 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 ». Il 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 différentes »⁵⁴. Dans les pages qui précèdent, il mentionne les réfractions que subissent les rayons de lumière à l'approche de l'atmosphère terrestre à cause des « vapeurs » qu'elle recèle : en

⁵³ Molières, *Leçons*, t. IV, p. 523-524.

⁵⁴ Hartsoeker, *Conjectures Physiques*, p. 306.

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 véritable refraction » issue de cette atmosphère enveloppant la matière (p. 304-306)⁵⁵.

Manifestement, en 1706, Hartsoeker ne connaît pas l'*Opticks* de 1704 ni l'*Optice* de 1706 de Newton⁵⁶. 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 »⁵⁷. Cet éther est « dense par degré » 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 ? (p. 493-494)

Par ailleurs, Newton écrit que la « friction » 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 (p. 498).

Ce recours aux densités de fluides apparaît au moins dès les années 1670 dans une lettre que Newton adresse à R. Boyle et publiée dans l'édition de 1744 des œuvres de ce dernier⁵⁸. Cette lettre, ainsi que les ouvrages de Bryan Robinson sur l'éther de Newton, contribueront à l'essor chez les savants britanniques d'explications de phénomènes physiques, notamment électriques, à l'aide de fluides impondérables⁵⁹. L'*Encyclopédie* laisse entendre l'importance de Boyle quant au développement d'une telle notion : « *Atmosphère* 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 *atmosphère* »⁶⁰. Dortous de Mairan évoque l'*Optique* de Newton et le *De Atmosphaeris corporum consistentium* de R. Boyle pour légitimer son usage d'atmosphères autour de corps⁶¹. Ce qui pouvait, d'après la précédente citation de Newton, faire office de conjecture apparaît comme un élément de recherche essentiel pour Dortous de Mairan, notamment dans son explication de la diffraction : ces « atmosphères » lui offrent la possibilité de concilier le mécanisme avec les expériences de l'optique newtonienne⁶². Molières composent les atmosphères magnétiques de petits tourbillons et c'est aussi le cas chez Béraud.

⁵⁵ *Ibid.*, p. 306.

⁵⁶ Au sujet de la découverte du phénomène de diffraction, Hartsoeker ne mentionne que le père Grimaldi « dans une observation, que personne que je sache n'a encore faite que lui », *ibid.*, p. 306. Notons que le développement de la notion d'atmosphère n'apparaît véritablement que dans l'édition de 1718 de du *Traité d'optique* de Newton.

⁵⁷ Newton, *Traité d'optique*, p. 493.

⁵⁸ Boyle, *The Works*, t. I, p. 70-73 ; Cohen, *Isaac Newton's papers and letters*, p. 250-253.

⁵⁹ Sur cette question, voir Heilbron, *Electricity in the 17th & 18th Centuries*, p. 67-71 et P. M. Heimann, « Ether and imponderables », p. 70.

⁵⁹ Newton, *Traité d'optique*, p. 493-497.

⁶⁰ « Atmosphère », *Encyclopédie*, t. I (1751), p. 822b.

⁶¹ Dortous de Mairan, *Dissertation sur la glace*, 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 Physiiciens les plus habiles, & sur-tout par ceux que des expériences aussi nombreuses que délicates ont rendu célèbres », en l'occurrence Newton et Boyle. Concernant Newton, Mairan se réfère à « Newton, *Opt. l. 2. part. 3. pr. 8* », à savoir Newton, *Traité d'optique*, 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, *Exercitationes de Atmosphaeris*.

⁶² Dortous de Mairan 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 ». Voir Dortous de Mairan, *Dissertation sur la glace*, p. 111. Sur cette conciliation chez Dortous de Mairan via les atmosphères, voir Darrigol, *A History of Optics*, p. 145.

4.4 Béraud et la densité des petits tourbillons magnétiques

La nature de la matière magnétique

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 Molieres⁶³.

Molières ne fonde pas 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 électrique⁶⁴. Ainsi, « répandue également » dans tout l'univers, « très-subtile » et « très-élastique », Béraud l'identifie à l'éther. Il remarque, comme par exemple Jean (II) Bernoulli concernant l'éther lumineux, que Huygens et Newton qui recourent à l'éther n'assignent pas de cause mécanique à son élasticité⁶⁵. Il écrit alors que

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 rompre⁶⁶.

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 ce qui convient « pour expliquer les mouvemens prompts & violens du Magnétisme & de l'Electricité » (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 en possédant un propre de même sens autour de son axe (p. 10)⁶⁷. Ainsi,

chaque petit tourbillon représente donc le tourbillon terrestre, il a son pole boreal qui regarde le Nord de la Terre, il a son pole austral qui regarde le Sud. Voilà la matiere magnétique, dont chaque petite partie a sa direction du Nord au Sud (p. 10).

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 matiere [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 » (p. 10). D'autre part, l'aimant doit renfermer dans ses pores et son environnement immédiat « moins de matiere étherée qu'un pareil volume de fluide environnant » à savoir que l'air (p. 6). De manière générale, Béraud suppose que

⁶³ Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 9.

⁶⁴ 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.

⁶⁵ Bernoulli, *Recherches Physiques et Géométriques*, p. 8 : « M^{rs}. 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 ». Les petits tourbillons fournissent à Bernoulli une telle « raison ».

⁶⁶ Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 2.

⁶⁷ Concernant ce second mouvement, Béraud souligne son caractère non « arbitraire », remarquant qu'il existe « dans tous les Corps célestes », ce qui donne le « droit » de le supposer pour les tourbillons.

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 (p. 3 et 5).

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 » (p. 5)⁶⁸. 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 eux⁶⁹. 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 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'air (p. 4)⁷⁰.

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 [de 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 densité⁷¹.

Autrement dit, un aimant contient moins d'éther qu'un pareil volume d'air à cause de sa structure interne. Dans ce « plus petit espace » les tourbillons subissent davantage de compression d'où leur plus grande densité. En effet, 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 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 Atmosphère de matière étherée plus dense que dans son état naturel » et ses tourbillons possèdent alors 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 (p. 5-6)⁷². Par ailleurs, « un Aiman est plus fort qu'un autre », donc attire ou repousse davantage, quand il possède « une Atmosphère de matière plus dense », soit qu'il occupe un plus grand volume, soit qu'à volume égal il contienne moins d'éther qu'un autre (p. 16)⁷³.

⁶⁸ 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 compacte » ; 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.

⁶⁹ 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.

⁷⁰ Cette plus grande « facilité » (vitesse) de propagation de la lumière dans un milieu plus dense correspond notamment à une thèse avancée par Newton, *Principes mathématiques*, t. I, p. 237 ; Bernoulli, *Recherches Physiques et Géométriques*, p. 49-50.

⁷¹ Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 5.

⁷² Voir ci-dessous pour les corps électriques.

⁷³ Concernant l'aimant, « la densité des tourbillons qui composent les différentes couches de cette Atmosphère 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 » et l'éther environnant résiste par des forces orientées de cette circonférence vers le centre,

En supposant qu'un solide placé dans l'atmosphère terrestre possède la structure d'un aimant définie ci-dessus et que des « tourbillons de la matière étherée condensée » 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'aimant vers les pôles du Monde » et lui faire conserver cette direction (p. 10). Un changement de direction impliquerait « que les pôles des petits tourbillons variaient, 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 différents », leur dureté s'y opposant. L'aimant se compose donc de « petites files magnétiques 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 » (p. 10-11).

Mécanismes de 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 » rencontrés plus haut chez Privat de Molières. 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 différents & avec différente vitesse, par conséquent avec des forces centrifuges plus grandes ou petites » : les petits tourbillons de chaque liquide « doivent se heurter les uns contre les autres », se « repousser » et « par leur ressort résister à la compression du fluide environnant qui fait effort pour les réunir » (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 atmosphères sont comme deux gouttes de fluides différents, qui ne peuvent pas se réunir pour n'en former qu'une parce que « les tourbillons qui les composent circulant en sens contraires doivent se 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 pôles Nords de ses tourbillons aux pôles Suds des siens, de façon qu'ils aient tous la même direction & qu'ils ne fassent plus qu'une Atmosphère » (p. 12-13).

Un aimant ne peut ni repousser ni attirer des corps tels que l'or, l'argent ou le 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 : De là 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, comme l'aimant, 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 Atmosphere, 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 Atmospheres homologènes (sic) » se confondent et le fer est attiré selon le même mécanisme que celui décrit pour deux aimants (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'aimant (p. 13-14)⁷⁴. 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 Monnier⁷⁵.

Cette « densité » d'éther permet d'expliquer deux propriétés que l'aimant donne au fer. Ce dernier comprend autour de lui une « petite Atmosphere », 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 aimantée qui présentée à un aimant se comporte de la même manière 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 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 attractive.⁷⁶

Ainsi, de manière générale, « la densité de l'Atmosphère magnétique est [...] le principe de tous les Phénomènes de l'Aiman » (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 davantage 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 appelle 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

⁷⁴ « 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 ».

⁷⁵ Ainsi, la limaille de fer placée sur « 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 tout autre métal 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.

⁷⁶ Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 17-18.

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 » (p. 16). Selon Béraud l'attraction du fer et celle de deux aimants résulte du même mécanisme (p. 16)⁷⁷. 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. 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.

5. L'électricité dans le prix de 1748 et le mémoire de 1755

Pour Béraud, la matière électrique s'identifie à l'éther sous la forme de petits tourbillons. L'équilibre et des ruptures d'équilibre de ces derniers permettent d'expliquer les phénomènes électriques et Béraud développe alors un mécanisme dans le prolongement des réflexions initiées par Privat de Molières. La dissertation de Béraud témoigne aussi d'une lecture approfondie de travaux contemporains : Nollet et Jallabert sont deux références et Béraud s'efforce d'inclure leurs mécanismes dans le cadre de sa théorie des petits tourbillons.

5.1 L'atmosphère électrique

Comme évoqué, Béraud ne différencie pas les matières magnétique et électrique qu'il considère composées des mêmes petits tourbillons. La nature des solides entraîne des « modifications » de la répartition en densité de l'éther composant l'atmosphère de corps, ceci expliquant alors des phénomènes spécifiques à ces matières. Ainsi, concernant l'électricité,

si le Corps solide par la configuration & la multitude de ses petits pores, renferme plus de matière 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 matière 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 Atmosphère de matière étherée, dont les couches en s'éloignant vont toujours en augmentant de densité, & par conséquent de force élastique (p. 6).

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 Atmosphère de [...] matière [éthérée], mais plus dilaté que dans son état naturel » (p. 6), et « les couches de cette Atmosphère deviennent toujours plus denses à mesure qu'elles s'éloignent du corps électrique » (p. 23).

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

⁷⁷ « L'Aiman attire le fer par le même mécanisme qui joint deux Aimans ».

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 (p. 22). La « force électrique » de différentes matières dépend notamment de leur « roideur » (p. 22-23)⁷⁸.

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 (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 vûes & 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 (p. 24)⁷⁹.

Béraud évoque à plusieurs reprises les travaux de Nollet et estime que par ce « flux & [...] reflux d'une matière homogène » et par ces « filets » électriques son système s'avère conciliable avec la « matière effluente & affluente » de Nollet⁸⁰. Par ailleurs, le mécanisme ici proposé paraît aussi proche de celui de Jallabert ; nous revenons sur Nollet et Jallabert dans la dernière partie de cette étude.

⁷⁸ 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 résulte 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.

⁷⁹ Béraud cite l'« Essay sur l'Electricité des corps, 1747 » pour Nollet et « *Theses de Electricitate Geneva, 1749* » concernant Jean Jallabert. Béraud fait ici référence à Nollet, *Essai sur l'Electricité*, au contenu théorique identique à Nollet, *Conjectures* ; « l'hypothèse que fit soutenir » suggère une référence à la thèse défendue par Louis Necker (1730-1804), *Theses Physicae*. On trouve notamment dans ce travail une explication de l'attraction et la répulsion proche de celle exposée dans Jallabert, *Expériences sur l'Electricité*.

⁸⁰ Nollet, *Conjectures*, 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 que 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*, 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 « 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 ; Benguigui, *Théories électriques*, p. 13-19.

5.2 Mécanismes de phénomènes électriques

Selon Béraud les attractions et répulsions de petites feuilles métalliques placées dans l'atmosphère d'une boule de verre électrisée résultent d'« une vraie impulsion » qui dépend du « mouvement réciproque » de l'éther qu'il a établi. Tout d'abord, Béraud juge d'abord « probable » que les tourbillons dans les métaux soient moins « serrés » que dans le verre, les métaux possédant des pores plus « larges » ou 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, les tourbillons entrent dans ces métaux et, composés de tourbillons « plus forts », ils communiquent de leur mouvement à ceux que les feuilles renferment : « ainsi affaiblis 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 », qui s'avèrent « trop légers » pour résister à la pression de l'éther dense qui agit sur leurs parties solides ainsi que sur les tourbillons qu'ils renferment⁸¹. Une fois les feuilles arrivées à proximité du tube de verre, de nouveaux filets « qui n'ont point encore perdu de leur force » émanant de ce dernier les repoussent, puis s'affaiblissent à leur tour par la communication de leur mouvement et 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 intérieurs (p. 25)⁸².

En approchant un doigt, soit « un corps non électrique », au voisinage d'une feuille d'or 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 doigt⁸³.

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 affaibli ». 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 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 [verre, cristal etc.] & l'autre résineuse [la cire, le soufre, l'ambre etc.] » : « 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 Jallabert (p. 25-26)⁸⁴.

⁸¹ Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 24-25.

⁸² Nollet précise 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*, 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'Électricité*, 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 », Béraud, *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.

⁸³ Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 25.

⁸⁴ 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 alors 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 & solide 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 [...] même les

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 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 environnant possède alors plus de « ressort » et les « filets » plus de force de compression⁸⁵.

Concernant l'électrisation par « communication », les corps non électriques par « eux-mêmes », autrement dit non électriques par le frottement tel 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 les tourbillons 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 fer⁸⁶. 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 », moins « spatieux » pour l'éther, et les « filets électriques » les pénètrent ainsi moins bien et communiquent moins leurs mouvements aux tourbillons compris dans ces pores⁸⁷. 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 pores et canaux soient plus « serrés » empêchant ainsi l'écoulement et la communication des « filets »⁸⁸. Il s'ensuit que pour électriser un homme il faut qu'il repose sur « des matières résineuses » ou 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 plancher⁸⁹.

Selon Béraud,

corps qui ne sont pas actuellement électriques, peuvent acquérir chacune de ces électricités, & [...] alors leurs effets sont pareils à ceux des corps qui la leur ont communiquée ». Dufay, *Quatrième mémoire sur l'électricité*, p. 465-467. Pour le rejet des deux électricités de Dufay, voir Nollet, *Essai sur l'Electricité*, p. 154-157 et p. 117-119 ; Nollet, *Conjectures*, p. 145-146 ; Jallabert, *Expériences sur l'Electricité*, p. 163-168.

⁸⁵ 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*, p. 135-136.

⁸⁶ 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 d'un 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 donc 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*, p. 75-81 et servent chez ce dernier à justifier l'existence de mouvements « effluents » et « affluents » simultanés autour des corps électriques

⁸⁷ 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*, p. 107-116 : l'expérience montre que l'électricité pénètre et sort plus facilement de certains corps (fer etc.) que d'autres (résines etc.)

⁸⁸ Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 24-25.

⁸⁹ *Ibid.*, p. 29-30. Sur cette remarque, voir Nollet, *Essai sur l'Electricité*, p. 157-159.

la matière électrique ou la matière étherée 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 étherée. Ce système est simple, conforme à l'expérience & sur-tout il s'accorde parfaitement avec les Phénomènes électriques⁹⁰.

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 courrans de matière étherée 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 « parties aeriennes » ; 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 », elle « s'enflamme » et « éclate » ce qui ne peut se faire sans une « percussion » contre l'air environnant ce qui produit les « petitemens » entendus. 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 » (p. 32 et p. 34-35)⁹¹.

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 les tourbillons du milieu selon la direction de « filets », pressions auxquelles l'éther extérieur plus dense – donc plus élastique – réagit⁹². 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 ils trouvent « moins de résistance » soit vers les pores du doigt et non ceux de l'air. Les attractions-répulsions associées aux verres et aux résines résultent d'un rapport de force entre leurs atmosphères. Par temps humide, les petits

⁹⁰ Béraud, *Dissertation sur le rapport*, p. 31-32.

⁹¹ 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'interprètent 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 pour l'esprit de vin par le choc des tourbillons électriques contre « les molécules d'une huile très-spiritueuse », *ibid.*, p. 35-36. Ces expériences figurent aussi chez Nollet, *Essai sur l'Electricité*, 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*, p. 113-121. Pour Nollet, la « lumière », les « piqûres », 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*, p. 178-181.

⁹² 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.

tourbillons d'éther dans de 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 d'inflammation suivent les explications de la genèse et propagation du feu de Lozeran du Fesc, ce dernier résultant de la mise en tourbillons de différentes matières et d'une « fermentation » produite par un déséquilibre de tourbillons.

5.3 Béraud et les théories électriques de Privat de Molières, de Jallabert et de Nollet

Joseph Privat de Molières

Il faut attendre les années 1730 pour qu'une explication de phénomènes électriques via les petits tourbillons voit le jour : Privat de Molières interprète un certain nombre d'expériences tirées des mémoires de Dufay publiés à l'Académie des sciences en 1733 et 1734⁹³. Avant Béraud, Privat de Molières avance l'idée d'une atmosphère composée de petits tourbillons entourant les corps électriques. Elle comprend des couches concentriques de petits tourbillons plus denses au voisinage de ce corps⁹⁴. Cette atmosphère est « lumineuse dans l'obscurité » et prend « feu lorsqu'on en approche le doigt » : elle se compose alors de « molécules d'huiles » qui sont pour Molières les petits tourbillons à l'origine de la lumière et du feu⁹⁵. Avant de frotter un corps électrique tel qu'un tube en verre, ses petits tourbillons d'huile en occupent les pores et équilibrent d'autres tourbillons de l'éther. Par le frottement, ils acquièrent un « nouveau mouvement » et ils commencent alors à « rompre l'équilibre » avec ces tourbillons pour s'agrandir de plus en plus en sortant des pores des corps et en passant dans ceux de l'air, rupture d'équilibre pouvant s'accompagner d'une « foible lumière »⁹⁶. Lorsque ces molécules d'huiles sont proches de l'inflammation, en approchant de cette atmosphère un doigt sur lequel réside des « molécules plus grossières » à cause d'une « insensible transpiration », « ces deux matières extrêmement fluides contenues 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 matière électrique est en plus grande abondance » et cette « flâme » se répand d'abord vers le doigt et peut causer une douleur puis dans toute l'atmosphère où elle consume toute l'huile (p. 434-435). Lorsque l'atmosphère du verre frotté se « répand » sur la superficie d'un métal, ce dernier devient électrique par « communication » : les molécules d'huiles contenues dans les pores du métal « doivent aussitôt s'étendre & passer dans les pores de l'air, communiquer leurs mouvemens à celles qui les suivent, & former autour de ce corps une atmosphère semblable à celle qui est autour du tuyau de verre » (p. 436-437). Si Molières ne détaille pas ici les raisons du mouvement des tourbillons d'huiles, il faut supposer qu'il résulte d'une différence de forces centrifuges entre les tourbillons de l'atmosphère du verre et ceux du métal : déséquilibre jusqu'à ce que la matière électrisée par « communication » acquiert une atmosphère « semblable » à celle régnant autour du verre, autrement dit de telle sorte que les forces centrifuges des tourbillons autour de chaque corps soient identiques⁹⁷.

⁹³ Pour l'évocation de ces mémoires et les recherches sur l'électricité chez Molières, voir Molières, *Leçons*, t. III, p. 425. Dans ces deux années, Dufay publie six mémoires sur l'électricité dans les volumes *Histoire* de l'Académie des sciences de Paris. Pour un examen des travaux de Dufay, voir Heilbron, *Electricity in the 17th & 18th Centuries*, p. 250-260.

⁹⁴ Molières, *Leçons*, t. III, p. 429-430.

⁹⁵ *Ibid.*, p. 431. Pour la définition de l'huile qui correspond « à cette matière inflammable à laquelle les Chimistes ont donné le nom de Soufre » et dont les molécules sont sous la forme de petits tourbillons comprenant des globules solides, voir Molières, *Leçons*, t. II, p. 271-281.

⁹⁶ Molières, *Leçons*, t. III, p. 431-432.

⁹⁷ Par exemple, en chimie, l'action d'une eau forte sur un métal se conçoit en effet par un déséquilibre entre les molécules d'huiles « contenues dans les pores du métal [...] qui ont plus de force centrifuge » que celles contenues dans l'eau forte, 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. Les tourbillons s'agrandissent alors au dépens des autres, « soulevent les particules solides du métal, & les détachent les unes des autres », l'agrandissement impliquant une perte de force centrifuge afin que le mélange de tourbillons d'huiles retrouve l'équilibre. Il faut ici supposer pour l'électrisation par communication un processus semblable de

Ces quelques mécanismes tirés des *Leçons* renferment un certain nombre de points communs avec ceux de Béraud. Tout d'abord, l'atmosphère électrique est générée par un déséquilibre faisant s'agrandir des tourbillons au sein d'un corps. Puis, le feu et la lumière produite résultent d'une « fermentation » impliquant des petits tourbillons. Des ruptures d'équilibre ou des différences de forces entre tourbillons sont ainsi des principes explicatifs communs, notamment pour l'électrisation par communication. Au-delà de ces points de convergences généraux, le détail des mécanismes diffère, en particulier ce flux-reflux de matières électriques expliquant chez Béraud l'attraction-répulsion n'apparaît pas chez Molières mais chez Jallabert et Nollet⁹⁸.

Jean Jallabert

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 d'une boule en verre met en mouvement ces « 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, autrement dit d'une couche plus élastique vers une autre moindre. 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 »⁹⁹.

En approchant 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 étendent librement »¹⁰⁰. 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 peut expliquer qu'après avoir été attirée par un verre frotté, une feuille d'or puisse être repoussée : cette feuille

déséquilibre et retour à l'équilibre, bien que n'impliquant pas la destruction du métal. Voir Molières, *Leçons*, t. III, p. 259-260.

⁹⁸ Pour l'explication de ce phénomène chez Molières, voir Heilbron, *Electricity in the 17th & 18th Centuries*, p. 276-279.

⁹⁹ Jallabert, *Expériences sur l'Électricité*, 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* 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.

¹⁰⁰ Jallabert, *Expériences sur l'Électricité*, p. 177-178. Inversement, un corps électrisé approché d'une résine, « corps abondant en fluide électrique », trouve plus de matière électrique à mouvoir et donc plus de résistance : il n'ébranle pas ce fluide pour le faire sortir du corps qui au contraire a tendance à le rassembler vers le corps électrisé ; il ne se crée ainsi pas d'atmosphère. Ces matières forment un isolant qui placé entre un plancher et un homme permettent à ce dernier de pouvoir être « électrisé », *ibid.*, p. 179-180.

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 (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 nécessairement 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. Ces conjectures peuvent servir à expliquer divers autres phénomènes : pourquoi, par exemple, les métaux, sont ceux que les corps électrisés attirent avec le plus de force ? (p. 156-157)

Par ailleurs, Jallabert remarque que deux corps aux atmosphères de même force 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 d'expériences de Dufay sans faire intervenir comme lui deux électricités différentes, celle des corps « vitrés » et l'autre des « résineux » : puisque le verre est plus « élastique » que la résine, il « lance » avec « plus de force » le fluide électrique (p. 164-166).

Jallabert postule donc un équilibre du fluide qui se répand là où il trouve moins de résistance. Les mécanismes rapportés ci-dessus s'interprètent via des différences de densités/forces de fluides électriques. Jallabert énonce ici deux explications pour l'attraction-répulsion électrique d'une feuille d'or. La première implique l'électrisation d'un corps et une lutte entre deux atmosphères qui s'entendent dans des directions contraires. La seconde consiste en la création d'une dépression entre le corps électrique et celui subissant son action, et du reflux de la matière entre eux qui contribue ensuite à presser et approcher les corps, mécanisme qui n'est pas sans évoquer ceux des phénomènes magnétiques rapportés plus haut et qui figure chez Nollet lorsque dernier explique l'attraction entre une résine et du verre électrisés.

Jean Antoine 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 », alors « elle doit s'empresse de remplir tous les espaces qui se trouvent vuides des parties de son espece ; c'est le propre des fluides, de se répandre uniformément, & de se mettre en équilibre avec eux-mêmes »¹⁰¹. 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 entrants (p. 81-89)¹⁰². En somme, cet « équilibre » s'entend avant tout une conservation de quantité de mouvement.

C'est sur une 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 électrisé¹⁰³. L'électrisation d'une

¹⁰¹ Nollet, *Essai sur l'Electricité*, p. 160.

¹⁰² Voir aussi Nollet, *Conjectures*, 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.

¹⁰³ Nollet, *Essai sur l'Electricité*, p. 148-151. Nollet, *Conjectures*, 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 vuides que les autres laissent entr'eux [...] de sorte que la matière affluente a toujours plus de prise sur le corps flottant ».

feuille d'or par ce globe de verre crée autour d'elle 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 s'en éloigne¹⁰⁴. Si on approche un autre corps comme du verre frotté ou une résine frottée de cette feuille électrisée, elle s'éloigne du verre s'approche de la résine. De manière générale, 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. Ainsi la feuille d'or électrisée voit son volume augmenter 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 effluens de ces matières électrisés [les résines] sont plus foibles » et, par ailleurs ces résines sont pénétrées plus facilement par le fluide électrique lorsqu'elles ont été frottées au préalable : les « rayons effluens » de la feuille et de la résine pénètrent mutuellement ces corps et « cette pénétration mutuelle fait que la résistance est moindre entre ces deux corps que par-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 » (p. 154-157)¹⁰⁵. L'électrisation par communication consiste alors à créer ce double flux dans un corps : le mouvement effluent produit provient des « impulsions continuelles » dans ce corps de la matière effluente du corps électrique telle que la boule en verre sur la matière électrique « au repos » dans ce corps 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 sort (p. 161-163).

Béraud, Nollet, Jallabert recourent donc à ces courants d'une matière électrique formant une atmosphère autour des corps. L'électrisation par « communication » consiste en la création d'une telle atmosphère, création liée à des différences de pressions. Pour Béraud, contrairement aux deux autres, ces gradients de pression proviennent de différences entre des forces centrifuges de petits tourbillons, écarts expliquant alors les mouvements de la matière électrique et donc ceux des corps que cette dernière renferme. En ce sens, Béraud s'appuie sur les petits tourbillons, à l'instar de Molières, qui lui fournissent ce cadre théorique général à partir duquel il interprète les mécanismes de Nollet et Jallabert.

6. Conclusion

Les critiques à l'encontre du système de Descartes et l'usage des petits tourbillons inscrivent la pratique de Béraud dans un héritage malebranchien. L'évocation de Malebranche et la comparaison avec des écrits de Privat de Molières témoigne d'une telle influence. Aussi trouve-t-on dans ses écrits des critiques semblables à celles adressées par Molières contre les *Principes de la philosophie* – rejet des mouvements dits « confus » et des formes particulières attribuées aux corpuscules – mais aussi parfois des explications proches de celles des *Leçons de physique*. Les petits tourbillons avec leurs forces centrifuges, leur équilibre et les ruptures d'équilibre donnent les mécanismes de phénomènes physico-chimiques – la théorie du feu manifestement identique à celle de Lozeran du Fesc, le magnétisme et l'électricité. Bien que Béraud ne reconduise pas l'intégralité des explications de Molières – le mémoire sur la calcination ne fait pas explicitement références aux petits tourbillons – les petits tourbillons sont les principes du mécanisme puisqu'ils donnent sa structure à l'éther qui emplit tout l'univers. Aussi s'attache-t-il à rendre compte des théories proposées par Nollet et Jallabert, qui pourtant relèvent de la philosophie mécanique, en allant plus loin qu'eux en spécifiant les causes des propriétés que ces savants donnent aux fluides subtiles : Béraud critique Huygens et Newton qui ne fondent pas mécaniquement l'élasticité de l'éther, reproche qu'il pourrait aussi adresser à Nollet et à Jallabert. En ce sens, sa démarche s'inscrit contre certains préceptes préconisés par Nollet. Comme souligné, tout en acceptant le

¹⁰⁴ Nollet, *Essai sur l'Électricité*, p. 151-153.

¹⁰⁵ La matière électrique pénètre plus facilement les métaux que l'air, et ne pénètre pas les résines gommées etc. sans qu'elles aient été préalablement chauffées : ces propositions se voient établies expérimentalement, *ibid.*, p. 107-116 et p. 145-146.

mécanisme dont il juge les principes intelligibles, Nollet se montre critique vis-à-vis des systèmes : Nollet invite à « retenir son imagination » et à recourir à un fluide subtil en ne lui attribuant que les propriétés que les phénomènes indiquent d'une « manière distincte » (voir Introduction, 3.4). Nollet ne voit dans les petits tourbillons qu'un mécanisme parmi d'autres pouvant résulter d'une trop forte imagination. Ça n'est manifestement pas le cas pour Béraud, dont les écrits sur la calcination, le magnétisme et l'électricité illustrent une des formes du mécanisme du XVIII^e siècle qu'il faut originellement rattacher à Malebranche.

Ainsi, Béraud critique Descartes et ceux qui le suivent, il s'appuie sur les travaux de Molières, mais il rejette aussi la possibilité que les planètes soient transportées par des tourbillons et fait de la loi de l'attraction une loi divine (voir Annexe IV), et ce tout en récusant que l'espace soit vide. Puis, ses mémoires témoignent d'un éclectisme, le savant compilant un grand nombre de sources dont notamment celles d'auteurs habituellement reconnus comme « newtoniens » (Boerhaave, Musschenbroek). Les travaux de Béraud illustrent alors toute la complexité, sinon les limites, d'une catégorie historiographique comme celle de « cartésien ».

Chapitre VII

Tolomas traducteur de Pemberton (1747-1754)

1. Introduction

Nous sommes maintenant au milieu du siècle, le newtonianisme a alors triomphé (dit-on). Certes, en 1747, éclate la « crise newtonienne », à propos du mouvement de la Lune, mais après les calculs de Clairaut, puis ceux de D'Alembert et d'Euler¹, celle-ci tourne à l'avantage des newtoniens, il est confirmé de façon éclatante que la loi de gravitation universelle et le calcul intégral rendent compte avec une efficacité remarquable des phénomènes célestes, dont l'interprétation restait rebelle : forme de la Terre, mouvement de la Lune, oscillations de l'axe de la Terre, plus tard retour de la comète de Halley, etc. Il ne resterait plus que quelques cartésiens attardés dont le vieux Fontenelle, publiant à 95 ans, en 1752, sa *Théorie des tourbillons cartésiens*². En fait, la situation vers 1750 est moins tranchée comme nous allons le constater à nouveau dans ce chapitre.

C'est à partir de 1747 que le P. Tolomas décide de traduire en français l'ouvrage de Henry Pemberton, *A View of Sir Isaac Newton's Philosophy* (1728) sous le titre : « Le Newtonianisme de Pemberton, traduit de l'anglais avec des remarques critiques ». Ce travail, partiel, n'a pas été publié mais il subsiste en manuscrit à l'académie :

- Ms200 f° 42-47, n° 557, lu le 28 juin 1747 : présentation générale de l'ouvrage et commentaires sur la préface ;
- Ms200 f° 48-61, n° 743, lu le 17 février 1751 : traduction de l'introduction ;
- Ms205 f° 20-29 (copiste), n° 855, 30 juin 1753 : traduction du chap. 4 du livre II, sur les comètes ;
- Ms200 f° 62-70, n° 895, 15 mars 1754 : traduction du chap. 1 du livre I, sur le mouvement des corps.

Nous n'avons pas vu d'autres passages traduits, ni dans les registres ni dans les mémoires manuscrits de l'Académie. Mais, comme nous ne disposons pas des papiers personnels de Tolomas, il est possible qu'il en existe, ceux-ci n'ayant pas été lus en séance. Ce sont ces morceaux de livre en feuilleton que nous allons examiner. Il n'existe à notre connaissance aucune autre traduction en français de Pemberton, jusqu'à aujourd'hui même. Nous chercherons à comprendre les intentions du P. Tolomas et de voir dans quelle mesure il répond à des discussions de l'académie, notamment entre les « cartésiens » attardés et le « newtonien » précoce Jacques Mathon de la Cour.

2. Le P. Tolomas (1706-1762)

Charles Pierre Alexandre Xavier Tolomas est né et baptisé à Avignon³, paroisse Sainte-Marie-Madeleine, le 17 mars 1706. Il entre chez les jésuites à l'âge de 17 ans. Il enseigne les humanités dans plusieurs lieux, vient à Lyon au collège de la Trinité, où il professe diverses matières littéraires. On peut suivre ses fonctions dans l'*Almanach* de Lyon. Dans les *Almanach* de 1742 et 1743, il est professeur d'éloquence ; dans ceux de 1744-49, il est professeur de rhétorique pour la poésie ; à partir de 1750, professeur de rhétorique pour l'éloquence. Rien de scientifique dans ces enseignements ! Il succédera au P. Jouve, en 1758, comme bibliothécaire.

Tolomas est élu membre de l'Académie des beaux-arts le 2 mars 1740 sur la recommandation du P. Duclos, jésuite qui se présente résolument comme partisan des idées de Descartes (voir

¹ Sur ces questions, voir Chapront-Touzé, *Premiers textes de mécanique céleste*, et notamment l'« Introduction générale » de ce livre.

² Pour ce livre et sa critique de la part de Béraud, voir Annexe IV.

³ Ces paragraphes sont résumés de la notice sur Tolomas, faite par l'auteur de ces lignes, dans le *Dictionnaire historique des académiciens de Lyon*, p. 1275-1278.

Introduction). Tolomas n'a jamais appartenu à l'Académie des sciences et belles-lettres. Aujourd'hui, le P. Tolomas (1706-1762) est surtout connu pour avoir défendu les jésuites contre l'article « College » que D'Alembert avait publié dans le tome III de l'*Encyclopédie* (1753) et avoir, semble-t-il, insulté ce dernier en le traitant (en latin) de bâtard lors d'une harangue de rentrée du collège de la Trinité à Lyon le 30 novembre 1754. Contrairement à ce qui a souvent été écrit, Tolomas n'a pas démissionné de la Société royale, suite à cette affaire : il y reste présent et même assidu. À la fusion de 1758, il devient membre de l'Académie réunie, où il siège jusqu'au 13 août 1761, avant son départ pour Avignon.

Avant cela, il a lu à l'académie des mémoires sur la sympathie et l'antipathie (1740), les feux d'artifice (1741), l'art de fortifier la mémoire (1742), la superstition sur les nombres (1743), le passage des Alpes par Annibal (1744), l'architecture et la mécanique des Egyptiens (1745), la pétrification (1746), la musique, la peinture et la déclamation chez les Anciens (1748-1750), l'art d'immortaliser les tableaux (1752). Après « l'affaire » D'Alembert-Tolomas, qui déchira l'académie début 1755, il fit des recherches sur la prétendue hyène qui avait jeté l'épouvante dans le Lyonnais (1755), défendit le café contre Perneti (1756), Epictète contre Jean-Baptiste Rousseau (1760), discuta pourquoi les philosophes étaient jugés incrédules (1761) et fit lire, peu avant sa mort, par le P. Béraud, un mémoire sur les caractères d'arithmétique des Phéniciens (1762). Jésuite, éclectique, recommandé par un « cartésien », « newtonien » militant ...

3. Ce qu'on connaît des *Principia* et de l'*Opticks* en 1747

Nous nous intéressons ici, non au newtonianisme en général, mais seulement à la diffusion des *Principia* et de l'*Opticks* de Newton, et des ouvrages de vulgarisation qui prétendent en rendre compte. La décennie quarante s'y emploie, mais pour l'essentiel en 1747, il n'y a pas encore grand-chose d'accessible sur le sujet.

Un mot, pour commencer, sur les éditions complètes des *Principia*. Il y en a eu trois, en latin, du vivant de Newton (1687, 1713, 1726). Les deux dernières sont semblables. La troisième, qui paraît un an avant la mort de l'auteur, est assurée par Pemberton. Une traduction anglaise paraît en 1729 signée d'Andrew Motte (1696-1734)⁴. Comme on sait, l'ouvrage est très difficile à lire, l'auteur a été, volontairement ou non, elliptique, les calculs ne sont pas souvent explicités. C'est pour remédier à ce défaut que Jacquier, Le Seur et Calandrini ont publié à Genève (1739-1742) une édition annotée, toujours en latin, dans laquelle les détails sautés par l'auteur sont rétablis, voire commentés, en même temps qu'il contient des « transcriptions » analytiques⁵. La première traduction française est en cours par la marquise du Châtelet, aidée de Clairaut, Jacquier et de quelques autres. D'après ce qui ressort de la correspondance de la marquise, cette traduction proprement dite, complète, est effectuée entre 1745 et 1746 et elle est même *imprimée* (mais non *publiée*) en 1747-1748 ; mais Mme du Châtelet y ajoute un commentaire qu'elle n'a pas vraiment le temps d'achever puisqu'elle meurt en 1749. Après de multiples péripéties, l'ouvrage sort en 1756 et sous forme complète en 1759, donc plusieurs années après les manuscrits de Tolomas que nous examinons ici⁶.

L'*Opticks* paraît dès 1704 en anglais, il y a une édition latine en 1706 et une autre anglaise en 1718 puis une traduction française dès 1720, du vivant de Newton, par Pierre Coste (1668-1747) et revue par Jean Théophile Desaguliers (1683-1744), une autre par le même en 1722⁷. Cet ouvrage est beaucoup plus accessible, le besoin d'une version mise à la portée d'un plus large public, et en français, se fait donc beaucoup moins sentir.

⁴ *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, 2 vol. (1729).

⁵ Pour cette édition, voir notamment Guicciardini, « Editing Newton in Geneva and Rome ». Voir aussi l'ouvrage en cours de parution sur François Jacquier (*François Jacquier: Un savant des Lumières entre le cloître et le monde*) sous la direction de Pierre Crépel et Gilles Montègre (2017).

⁶ Sur l'histoire de la traduction de la marquise du Châtelet, voir Köllving et Courcelle, *Emilie du Châtelet, éclairages et documents nouveaux*, en particulier Courcelle, « La publication tardive des Principes mathématiques », p. 301-308.

⁷ Sur ces éditions et la réception de l'optique de Newton en France, voir notamment Guerlac, *Newton on the Continent*, p. 78-163.

Nous passons maintenant aux exposés « vulgarisés ». Ce terme écrase à tort les différences entre les projets, alors qu'il convient au contraire de les mettre en évidence. Il existe en effet des ouvrages assez vagues et sans calculs, comme le *Newtonianisme pour les dames* d'Algarotti (éd. italienne 1737, traduction française en 1738), qui connaît un grand succès, et les *Elémens de la philosophie de Newton*, publiés par Voltaire en 1738. C'est dans une autre catégorie, intermédiaire, que se trouve le livre de Pemberton : il s'agit de réduire les aspects techniques et mathématiques par rapport à l'édition originale, sans pour autant les supprimer. Pour Tolomas, Pemberton a réalisé un équilibre satisfaisant permettant un accès sérieux, mais humain, au cœur des *Principia*. Il s'agit donc de rendre cet ouvrage utilisable par un public francophone. Dans un esprit un peu différent, mais apparenté, on doit noter un autre livre qui va connaître un certain succès : les *Institutions newtoniennes* de l'abbé Sigorgne (1747), destiné à l'enseignement et d'une teneur plus mathématique. L'exposé posthume de Maclaurin, *Account of Sir Isaac Newton's Philosophical Discoveries*, publié en 1748 et 1750, répond aussi à des préoccupations similaires. Si nous nous plaçons à l'aube de l'année 1747 (avant l'ouvrage de Sigorgne), une traduction de *A View of Isaac Newton's Philosophy* de Pemberton apparaît donc comme un travail extrêmement utile, qui comble une lacune.

4. Henry Pemberton (1694-1771)

Pemberton n'est pas très populaire aujourd'hui. Il n'a même pas de notice « wikipédia » en français le 4 avril 2017 : il en existe juste une - très brève - en arabe, une assez modeste en anglais, dont les informations semblent dater du *Dictionary of National Biography* du XIX^e siècle (vol. 44, p. 281-282), et une un peu plus moderne en allemand. On trouve des éléments sur Pemberton dans des études de I. B. Cohen datant des années 1960 et du début des années 1970⁸. Il n'y a rien sur le site MacTutor History of Mathematics archive⁹. Résumons. Pemberton a étudié la médecine à Leyde, avec Boerhaave, puis l'anatomie à Paris. Devenu médecin, il a peu exercé, on lui doit quelques travaux de chimie et de physiologie. Il est surtout connu pour avoir été en contact avec Newton âgé, suite à une critique contre le marquis Giovanni Poleni (1683-1761) favorable aux forces vives de Leibniz. C'est surtout cette proximité avec le grand homme, son aide pour la 3^e édition des *Principia* en 1726, ainsi que l'ouvrage sur le « newtonianisme », publié en 1728, qui le font connaître. Il envisageait une traduction anglaise des *Principia*, avec un commentaire, mais suite à la traduction d'Andrew Motte (1729) il abandonne le projet. Les historiens considèrent en quelque sorte que c'était un savant prometteur mais finalement décevant.

5. *A View of Isaac Newton's Philosophy*

L'ouvrage de Pemberton (London, S. Palmer, 1728) comporte 407 pages + planches + de nombreuses pages non numérotées, une dédicace à Sir Robert Walpole, une préface (6 pages) dont nous allons reparler, un long poème d'un jeune homme de seize ans (15 pages) à la gloire de Newton, un sommaire, la liste des souscripteurs (16 pages serrées). Le corps de l'ouvrage contient une introduction, une petite conclusion et trois « livres » : le premier sur le mouvement, le second sur la mécanique céleste et le troisième sur l'optique. En d'autres termes, les deux premiers livres correspondent aux *Principia* et le dernier à l'*Opticks*. Voici le sommaire un peu plus en détail, où nous avons mis en italiques les passages dont nous possédons la traduction de Tolomas, c'est-à-dire environ 15% de l'ouvrage :

Introduction (p. 1-26)

Book I (p. 27-160)

- *Chap. 1. Of the laws of motion* (p. 27-48)

- Chap. 2. Further proofs of the laws of motion

⁸ Cohen, « *Pemberton's Translation of Newton's Principia* » (1963) et *Introduction to Newton's 'Principia'* (1971).

⁹ <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/> consulté le 04/04/2017.

- Chap. 3. Of centripetal forces
- Chap. 4. Of the resistance of fluids
- Book II (p. 161-315)
 - Chap. 1. That the planets move in a space empty of matter
 - Chap. 2. Concerning the cause that keeps in motion the primary planets
 - Chap. 3. Of the motion of the moon and the other secondary planets
 - *Chap. 4. Of comets (p. 230-247)*
 - Chap. 5. Of the bodies of the sun and planets
 - Chap. 6. Of the fluid parts of the planets
- Book III (p. 316-404)
 - Chap. 1. Concerning the cause of colours inherent in the light
 - Chap. 2. Of the properties of bodies whereon their colours depend
 - Chap. 3. Of the refraction, reflection, and inflection of light
 - Chap. 4. Of optic glasses
 - Chap. 5. Of the rainbow
- Conclusion (p. 405-407)

La brève conclusion se contente d'évoquer l'existence d'un être suprême, de résumer quelques considérations sur les interactions entre matière et lumière ou sur l'attraction. Le corps de l'ouvrage n'appelle pas trop de commentaires de la part d'un lecteur du XXI^e siècle ; en effet, la plupart des idées et résultats qui s'y trouvent font partie du bien commun de tout mathématicien ou physicien d'aujourd'hui. L'auteur ne nous donne pas toutes les démonstrations, mais il expose les plus simples et fournit des pistes pour ce qui dépasserait les capacités de son lecteur (de façon géométrique, jamais algébrique, conformément à son programme) : la plus grande partie de l'ouvrage ne peut être lu que les planches étant dépliées à part. Il convient seulement de s'arrêter sur l'introduction, entièrement traduite par Tolomas. Elle comporte 25 (en fait 26, car il y a deux n° 25) alinéas de tailles variables couvrant 26 pages. Après quelques généralités (n° 1-3), l'auteur insiste sur les leçons à tirer du *Novum Organon Scientiarum* de Francis Bacon (n° 4-13), en critiquant Descartes (n° 8), puis passe aux principes dégagés et utilisés par Newton (n° 14-25).

6. Le projet de Tolomas

Le P. Tolomas explicite son projet lors de sa première communication, le 28 juin 1747, dans un discours relatif à la préface de Pemberton. Nous reproduisons cet écrit in extenso en Annexe III, ce qui nous permettra ici de présenter les objectifs et les commentaires de l'auteur de manière synthétique. Rien, dans les précédentes interventions de Tolomas à l'Académie, ni dans ce que nous avons pu trouver à propos de ses enseignements au collège de la Trinité, ne nous a permis de dégager un sens à l'ensemble de l'œuvre de ce père jésuite. Il est difficile de faire plus éclectique, son enseignement porte sur des matières littéraires ou religieuses, ses communications académiques sont aussi bien scientifiques, qu'historiques, artistiques, philosophiques ou pratiques, elles sont indépendantes les unes des autres. Alors qu'il commence ce que nous appellerions un « cycle » sur Newton, celui-ci s'étale sur sept ans, ne traite que quelques aspects (alors qu'une traduction complète ne lui aurait demandé que quelques semaines, voire quelques mois) et est entrecoupé d'exposés sur d'autres questions absolument sans rapport.

On peut bien entendu émettre quelques hypothèses. Par exemple, Tolomas, qui connaît l'anglais (compétence relativement rare à l'époque), a pu être sollicité par ses collègues les P. Béraud et Dumas qui enseignent les mathématiques et l'astronomie au collège de la Trinité, pour confectionner un document utile à leurs leçons. Peut-être aussi s'agit-il d'une façon de combattre indirectement certains cartésiens attardés et « tourbillonnaires », comme son confrère jésuite le P. Castel ? Nous ne le savons pas. Dans son discours du 28 juin 1747, Tolomas présente sa rencontre avec l'ouvrage de l'auteur comme fortuite : « Le hasard fit tomber, il y a quelque tems,

entre mes mains l'ouvrage anglois de Pemberton ». Il aurait été mis sur cette piste par Voltaire : « Ceux qui voudront s'instruire d'avantage liront les excellentes physiques des s'gravesandes, des Keils, des Mushenbroeks, des Pembertons & s'approcheront de Newton par degrés »¹⁰. Il a alors cru qu'il existait une traduction française, l'a cherchée et n'en a pas trouvée, sauf quelques morceaux par Voltaire lui-même et d'autres en 1753 par Jacques Georges Chauffepié (1702-1786), dans ses ajouts au dictionnaire de Bayle¹¹. Il a alors utilisé sa connaissance de l'anglais pour rendre service à la collectivité.

Tolomas est explicite sur un autre objectif de sa communication : solliciter les avis et l'aide de savants membres de la Société royale (donc Mathon de la Cour, probablement Béraud et quelques autres) pour les parties mathématiques :

Il m'a paru que les prémices d'un travail de cette nature étoient dignes d'être présentées à cette compagnie, qui compte parmi ses membres de judicieux appréciateurs de Newton, infiniment propres à accréditer le philosophe anglois, puisqu'ils ne lui ont voué leur estime, qu'après l'avoir bien médité & bien approfondi, chose, qui n'est pas fort commune, s'il faut en croire le p. Castel, parmi ceux là mêmes, qui se donnent pour Newtoniens.

Il explique ensuite pourquoi il n'a pas traduit la préface : c'est à cause de plusieurs désaccords avec son auteur. En effet, en premier lieu, celui-ci promet trop quant à l'accessibilité de son ouvrage, car le texte n'est pas si lisible pour un non savant : certes, il ne comporte pas d'algèbre, mais il y a de « la géométrie et mille figures assez compliquées ». En second lieu, Tolomas conteste l'argument de Newton et de Pemberton, selon lequel « c'étoit gater la géométrie que d'y mêler des calculs algébriques » ; au contraire, il faut faire « marcher l'algèbre & la géométrie presque d'un pas égal », ce qu'ont pratiqué eux-mêmes les inspireurs de Newton. Pour Tolomas, « l'utilité, la nécessité même de l'Algèbre, sont choses [...] bien constatées », et on ne doit pas s'en remettre uniquement aux Anciens, qui connaissaient la géométrie et non l'algèbre. En dernier lieu, Tolomas reproche à Newton et encore plus à ses disciples, en particulier à Pemberton de dénigrer Descartes : il « a fait comme les mauvais panegyristes qui ne croient pouvoir bien établir le crédit de leurs Heros, qu'au dépens de la réputation de quelque autre Heros non moins célèbre ».

Si on lit la préface de six pages, non numérotées, de Pemberton, on doit noter que ce dernier n'est pas aussi tranché que Tolomas le prétend. Il se contente de dire, à propos de l'accessibilité de son ouvrage : « I have avoided using terms of art as much as possible, and taken care to define such as I was obliged to use » (Pemberton, *A view*, « Preface »). Il expose certes la préférence de Newton pour la géométrie des Anciens « in opposition to the injudicious title of Geometry, which Descartes had given to the treatise, where he shews, how the geometer may assist his invention by such kind of computations ». Il ajoute que Newton louait Sluse, Barrow et Huygens « for not being influenced by the false taste, which then began to prevail ». Il serait difficile d'affirmer que Pemberton ait explicitement rabaisé Descartes pour rehausser Newton. Tolomas aurait fort bien pu traduire la préface et se contenter d'y ajouter une note pour prendre ses distances vis-à-vis des désaccords plus esthétiques que mathématiques de l'auteur sur les relations entre algèbre et géométrie. La préface de Pemberton contient diverses informations sur Newton dont Tolomas rend compte dans son discours de façon résumée. Le lecteur se reportera à l'Annexe III.

Tolomas ajoute, dans sa première communication, quelques considérations sur la connaissance qu'on a en France des idées de Pemberton :

On en a été instruit en France par la publication de certaines Lettres soi-disant philosophiques, dont un François célèbre s'est justement offensé qu'on l'ait crû l'Auteur [Voltaire], & qu'il a fort sagement désavouées. Cét Epistolaire quelqu'il soit n'a pas jugé à propos d'avertir que ce qu'il raporte dans la 15e Lettre au sujet de l'Attraction, & des raisonnemens qui conduisirent Newton à ce principe

¹⁰ Voltaire, *Elémens de la philosophie de Newton*, p. 12.

¹¹ Voir Chauffepié, l'entrée « Newton » (note marginale « n » concernant l'évocation de Pemberton) dans *Nouveau Dictionnaire historique et critique*, vol. 3.

de physique, est en partie assez exactement traduit de la préface de Pemberton. Mais puisque cette traduction est entre les mains de tout le monde, il est inutile d'en répéter le contenu.

On ne sait pas bien si notre jésuite lyonnais croit vraiment que Voltaire n'est pas l'auteur des *Lettres philosophiques*, car il s'agissait d'un secret de Polichinelle.

Alors que Pemberton s'est bien gardé de s'exprimer sur la rivalité franco-anglaise, Tolomas termine sa communication par des remarques à ce propos, il se range derrière l'éloge de Newton par Fontenelle et rappelle que « l'immortel Rousseau [Jean-Baptiste] s'élevait avec une noble hardiesse contre cet esprit anglais »¹², mais il semble blanchir Newton de cet « esprit ».

La dernière phrase annonce le programme de Tolomas : « si vous l'agrez, Mrs, j'aurai l'honneur de vous en présenter de tems en tems quelques morceaux, et ce sera sur votre estime que je réglerai la mienne pour cet auteur ». Doit-on considérer ce « si vous l'agrez, Mrs » comme une simple formule de politesse ou comme une précaution face à un éventuel désaccord de ses confrères ?

7. La traduction

Jetons à présent un coup d'œil sur les trois passages traduits. Il est normal d'avoir pris l'introduction, qui donne une idée de l'ouvrage et en précise les présupposés philosophiques. Il est également naturel de proposer le chapitre 1 du premier Livre, sur les principes des lois du mouvement, car c'est à la base de tout. Le choix du chapitre sur les comètes nous paraît relever plutôt d'un exemple d'illustration de la puissance d'investigation des méthodes newtoniennes ; en outre, il s'agit de phénomènes spectaculaires dont le monde lettré parle souvent. Peut-être est-ce lié aussi à des mémoires lus par d'autres académiciens ou aux préoccupations de ses collègues astronomes du collège de la Trinité, Béraud et Dumas¹³. Par ailleurs, il faut souligner que le mouvement des comètes pose une véritable difficulté, sinon un défi, dans le système des tourbillons de Descartes, comme le souligne Pemberton lui-même¹⁴. Enfin, comme nous l'avons dit plus haut, le Livre III de Pemberton, sur l'optique, n'apportait probablement pas beaucoup d'informations nouvelles aux membres de la Société royale qui connaissaient fort bien ces théories.

La traduction assez libre mais bien dans l'esprit de l'auteur original et, à l'époque, on ne se gênait pas pour modifier et adapter les termes ou les phrases, sans d'ailleurs en informer l'auteur (lequel est alors toujours vivant). Nous avons déjà dit que nous ne savions pas si Tolomas a traduit d'autres morceaux. Avait-il l'intention de publier son travail ? A-t-il échoué dans la recherche d'un libraire-imprimeur ? A-t-il estimé que l'entreprise perdait de son intérêt ou de son actualité ? Nous l'ignorons. Il est possible que la parution des *Institutions newtoniennes* de Sigorgne et l'annonce de la traduction complète et commentée par la marquise du Châtelet l'en aient dissuadé. Ni les registres, ni les manuscrits des mémoires d'autres académiciens ne semblent contenir de traces de discussions ou de commentaires. On est un peu étonné des délais et de l'ordre de lecture des passages lus à l'Académie. Certes, tout académicien doit un « tribut annuel » et, le nombre de séances étant limité, aucun ne peut lire plusieurs mémoires par an. Ici, Tolomas a intercalé la lecture de discours sur d'autres sujets dans les années suivantes et on a un peu l'impression qu'il tient ses morceaux de traduction en réserve, soit pour des occasions qu'il estimerait liées à l'actualité (sur les comètes ?), soit pour combler des trous.

Terminons par une remarque. Il existe une traduction allemande ultérieure, enrichie d'une

¹² La référence exacte est une lettre à Racine (fils) datée de Bruxelles, 18 mai 1738, où J. B. Rousseau écrit : « mais surtout ce malheureux esprit anglais, qui s'est glissé parmi nous depuis vingt ans, est la chose du monde qui demande le plus à être décréditée, et dont le ridicule mérite le mieux d'être dépeint par une main comme la vôtre » (*Œuvres de Jean-Baptiste Rousseau*, t. 3, p. 415-416).

¹³ Voir en particulier les mémoires contenus dans le Ms 205.

¹⁴ Pemberton, *A View*, p. 230-231. Sur cette difficulté, voir le chapitre II de notre livre.

préface et de notes, de l'ouvrage de Pemberton, par Salomon Maimon (1753-1800)¹⁵. Cet ouvrage de 1793 est conçu d'une façon assez différente, en partie expliquée par l'époque (un demi-siècle plus tard). L'objectif du traducteur est aussi de se situer par rapport à Kant (dont il est un adversaire), dans la préface (Vorrede, p. III-XVI) et d'ajouter des méthodes alternatives (voir par exemple les Anmerkungen du premier livre, p. 193-224). Ce n'est pas le lieu d'analyser ici les contenus des ajouts de Maimon, beaucoup plus philosophiques que le discours de Tolomas le 28 juin 1747. Notons seulement que l'auteur évoque les méthodes de Descartes et les tourbillons cartésiens p. V-VI et p. X de sa préface.

8. Conclusion

Tolomas nous propose une vision assez œcuménique de l'œuvre de ces deux grands hommes que sont Descartes, le pionnier, et Newton qui l'a prolongé et dépassé. Il est bien dans le ton du milieu du siècle, de l'*Encyclopédie* et ... de D'Alembert. Rien qui puisse laisser croire à des prises de position polémiques de cet « esprit vif et ardent », comme le décrit Bollioud-Mermet. Ici, si tel était le cas, « il en modère l'impétuosité par la décence de son état »¹⁶. C'est pourtant peu après, fin 1754-début 1755, qu'éclate l'affaire célèbre Tolomas-D'Alembert. Quelques années plus tard, si l'on en croit les notes manuscrites de Pierre Adamoli, le donateur de l'Académie de Lyon en 1769, « le rusé pere Tolomas jesuite » publia une violente brochure, *Les Pourquoi*, contre la dissolution des jésuites et

complota avec ses confreres de Lyon, de faire enlever furtivement tous les livres de la fameuse Bibliotheque dud. grand college ; mais la meche fut eventée, par la vigilance des magistrats, precisement la veille de la nuit du départ de soixante quatre grandes caisses ou balots de livres prêts a s'embarquer sur le Rhône pour Avignon¹⁷.

Nous terminerons donc ce chapitre en parodiant l'ami intime de Claude Brossette (fondateur de l'ASBL), revu par Pierre Adamoli :

Dans ce texte sérieux où Tolomas explique,
Je ne reconnais pas le vice jésuitique.

¹⁵ Pemberton, *Anfangsgründe der newtonischen Philosophie* (1793)

¹⁶ Ms 271, p. 126.

¹⁷ Exemplaire coté 809717 de la BM de Lyon : page de titre et p. 35-36.

Conclusion

Cette étude s'appuie pour une large part sur des manuscrits de la bibliothèque de l'Académie des Sciences Belles-Lettres et Arts de Lyon. Ces documents, composés notamment de lettres et de mémoires pour la plupart inédits et/ou de résumés d'interventions d'académiciens, sont parfois éclairés par des correspondances ou par des comptes rendus de séances académiques tirés de journaux de l'époque. Ces sources, auxquelles il faut joindre des imprimés dont certains sont lus lors de séances académiques – la bibliothèque pouvant, par ailleurs, posséder les manuscrits originaux des textes édités –, permettent de faire revivre les réflexions et débats animant alors l'ASBL et l'ABA sur la thématique de notre ouvrage. Elles s'avèrent ainsi un instrument précieux pour prendre le pouls de la vie académique et déceler ce qui la rythme. Quelles premières conclusions tirer des analyses de ces documents ?

Une vie académique dans l'actualité des débats

Trois périodes semblent se dégager pour notre sujet.

Tout d'abord, l'ASBL est le théâtre de discussions concernant l'héritage scolastique face aux théories de Descartes. On se situe alors essentiellement autour de 1720, et les critiques contre Descartes sur l'essence de la matière, la nature de l'espace, l'interaction corps-âme entrent en résonance ce qui figure dans le *Dictionnaire de Trévoux* notamment à l'entrée « Cartésianisme ». De fait, ces réflexions sont l'œuvre du père Lombard, jésuite, qui les prolonge jusqu'en 1741 ; du Perron, qui n'appartient pas à la Compagnie, y participe aussi. Ceci fait écho à la réception complexe de Descartes par les jésuites. Pour autant, à cette époque – en gros, le premier tiers du siècle – l'intérêt du milieu savant lyonnais ne se porte pas uniquement sur des sujets de nature essentiellement philosophique. En effet, tout d'abord, il faut souligner que l'ASBL ne traite pas spécifiquement de questions scientifiques. Puis Descartes apparaît bel et bien dès le début du siècle, notamment sous la forme de commentaires de sa géométrie enseignée au collège de la Trinité, ou à travers des travaux sur les tourbillons de 1707 de Villemot. Enfin, ce dernier influence les écrits du père Grégoire, et notamment ses mémoires qui concourent aux prix de l'Académie royale des sciences de Paris de 1730 et 1732-1734 ; il influence aussi les travaux de mécanique céleste de Duclos et de Rey.

Ensuite, la création de la « société des conférences » au sein de l'ABA en 1736, « société » qui devient motrice sur des sujets scientifiques et entraîne dans son sillage l'ASBL, est un événement majeur. En son sein, Newton fait son entrée officielle sur la scène lyonnaise. Ceci passe par l'exposé des limites des explications de phénomènes astronomiques par les tourbillons et par l'examen des théories newtoniennes dont on montre la pertinence (Béraud, Mathon). Ceci passe aussi par des polémiques, notamment les réponses que Mathon adresse en 1744 dans le *Journal de Trévoux* aux critiques du père Castel contre les *Principia* de Newton. Si certains jésuites sont partisans des explications mécanistes et prennent le parti de « M. Descartes et M. Cassini » au sujet de la figure de la Terre contre Newton (Duclos), d'autres se montrent favorables au savant anglais (Morand, Béraud) : la Compagnie ne présente donc pas un visage homogène. Pour sa part, l'abbé Cayer, tout en défendant des théories mécanistes, fait élire à l'ABA les pères Le Seur et Jacquier commentateurs des *Principia*. Les discussions académiques sur l'harmonie et ses liens avec les couleurs ne sont étrangères ni aux préoccupations initiales – musicales – de l'ABA, ni aux travaux de l'époque dont ceux de Castel et de Dortous de Mairan chez lequel la présence de Newton est prégnante, les recherches du savant anglais posant aussi la question de l'analogie entre ces deux domaines¹. A l'ASBL, après 1740, des interventions portent sur le système de Descartes et les critiques qu'en fait Malebranche, et se montrent favorables au mécanisme (Lombard, du Perron) et critiques contre Newton (du Perron).

¹ Voir Darrigol, *A History of Optics*.

Après 1744, les débats ne semblent plus exister sur le terrain scientifique. Cela ne signifie pas pour autant que les académies se convertissent au newtonianisme et que le mécanisme ne soit plus présent. Si, à l'ABA, le père Tolomas entreprend dès 1747 une traduction de l'ouvrage de Pemberton, pour sa part, l'abbé Cayer émet des réserves sur le vide de Newton, et loue manifestement Malebranche et Privat de Molières. D'autre part, Béraud, tout en défendant la théorie de la gravitation newtonienne, explique des phénomènes physico-chimiques avec des petits tourbillons. A l'ABSL, des séances ont pour objet les fondements métaphysiques des sciences. Cheynet, qui s'illustre dans le domaine des mathématiques où il défend la géométrie de Descartes et voit chez celui-ci la première idée de « la géométrie des infinis », critique les conceptions malebranchiennes de la nature des corps et du mouvement et souhaite en revenir à celles de Descartes ; Borde traite de la même question. Pour sa part, Bimet développe une critique de Locke.

D'après l'Introduction, cette périodisation, les sujets abordés, les débats qu'ils peuvent susciter, se rencontrent dans l'Académie de Paris et plus généralement en Europe dans le premier XVIII^e siècle. La question des relations entre l'aristotélisme et Descartes n'est pas étrangère à la présence et l'importance des jésuites à Lyon via le collège de la Trinité ; mais cette question est prégnante pour la Compagnie – comme, par exemple, l'examen du contenu des enseignements en atteste – et ne touche pas seulement les bords du Rhône. Si les informations sont lacunaires sur la période des années 1720, force est de constater que les mémoires de père Grégoire en 1730 et 1732-1734 ne sont pas sans rapport avec les recherches de Privat de Molières menées à l'Académie de Paris à la même époque, recherches qui relèvent d'un mécanisme céleste réformé par rapport à celui de Descartes, inspiré par Villemot et par Malebranche, et qui s'efforce de tirer les leçons des critiques de Newton. Ceci suggère l'existence à Lyon, dès la fin des années 1720, de réflexions sur ce nouveau mécanisme notamment comme moyen de répondre à ces critiques. Les académies lyonnaises abordent aussi des sujets débattus à l'époque – la nature de l'attraction, l'existence ou non du vide, la figure de la Terre, des réflexions sur Locke. On voit enfin certaines pratiques se mettre en place – une approche analytique, la mathématisation des effets indépendamment de la question des causes, et, comme nous le signalerons ci-dessous, une prise de distance vis-à-vis d'une physique reposant sur des systèmes – qui là aussi entre en résonance avec des questionnements épistémologiques de la période.

Ainsi, ces évolutions locales accompagnent d'autres plus globales et le milieu lyonnais n'est pas coupé des réflexions et des pratiques de son temps, en étant informé, par exemple, par les lectures en séances de journaux (*le Journal de Trévoux*), par celles de prix (par ex. celui sur le feu de la marquise du Châtelet), par ses réseaux de correspondants, par la réception de livres, par les participations de ses membres à des concours proposés par d'autres académies etc. Si les théories de Newton font ainsi leur chemin, les explications de phénomènes physico-chimiques s'appuient sur des matières subtiles. De la même manière, si dans les années 1740 Clairaut, Euler, D'Alembert développent une mécanique céleste dans le cadre du système de la gravitation de Newton, pour leur part Nollet, Dutour de Salvart, Jallabert ou encore Jean (II) Bernoulli et Euler expliquent la capillarité, le magnétisme, l'électricité, des phénomènes optiques etc. par l'action de fluides invisibles. Puis, au-delà de la dichotomie Descartes-Newton, les théories de Malebranche et sa réforme de Descartes sont largement répandues dans tout le royaume, et Lyon n'échappe pas à la règle. Mais, plus précisément, en quoi et comment les savants lyonnais sont-ils des protagonistes de telles évolutions ?

La production scientifique

Les productions académiques lyonnaises semblent brouiller les cartes entre savants amateurs et professionnels, hommes de système et sans système, créateurs et disciples.

Tout d'abord, Villemot est à l'origine de méthodes reconduites et amendées par Malebranche, Privat de Molières et tous ceux qui conçoivent des équilibres des couches de matière subtile

autour des astres pour rendre notamment compte de la 3^{ème} loi de Kepler et de la loi de gravitation de Newton. Ce mécanisme apparaît donc chez des académiciens parisiens (Malebranche, Molières, Gamaches), il se voit enseigné (par Molières dont les *Leçons de physique* sont utilisées dans le royaume) et est à l'œuvre dans les mémoires du père Grégoire.

L'activité scientifique lyonnaise se caractérise aussi par la participation à de nombreux prix, tels ceux proposés par les Académies de Bordeaux, de Paris, de Saint-Petersbourg. Les pères Grégoire, Lozeran, Béraud et Mathon, sur une période allant de 1726 à 1755, remportent des prix, reçoivent des accessits ou tout simplement concourent sans recevoir de distinctions². Les sujets sont alors naturellement des préoccupations de l'époque (mécanique céleste, nature du feu, magnétisme, électricité, navigation-hydrodynamique etc.) et les contributions lyonnaises côtoient celles de savants et philosophes de renom (Leonhard Euler, la marquise du Châtelet, Colin MacLaurin, Jean Pierre de Crousaz, Voltaire, Paolo Frisi, Jean Albert Euler, Jean (I) Bernoulli, Daniel Bernoulli etc.) Ces contributions sont lues à l'ABA par leurs auteurs ou par des confrères. Exceptée la dissertation de Mathon de 1753 (« sur la manière la plus avantageuse de suppléer à l'action du vent sur les grands vaisseaux »), ces recherches se caractérisent par l'usage de tourbillons célestes (Grégoire), ou de petits tourbillons dont la théorie est originellement donnée par Malebranche, sans que pour autant leurs auteurs (Lozeran, Béraud) ne suivent à la lettre ce philosophe et puissent être qualifiés de disciples fidèles. Les mémoires de Béraud témoignent d'un éclectisme en matière de sources et d'une connaissance des travaux les plus récents, en particulier d'expériences de son temps. Par ailleurs, si ce savant recourt à des petits tourbillons, il ne semble pas être totalement un auteur à systèmes puisqu'il s'affranchit des grands tourbillons pour les phénomènes astronomiques.

Mathon est le premier à exposer les théories de Newton à l'ABA. Ses travaux de mécanique céleste se caractérisent par la volonté de rendre accessible Newton tout en ne se plaçant pas sur le terrain de la vulgarisation. Ceci requiert une compréhension et assimilation de la technicité de l'ouvrage, aptitudes manifestement partagées par Béraud comme le suggèrent ses travaux sur les irrégularités des mouvements de la Lune et sur les comètes. Pour ces deux savants, il ne s'agit jamais de prendre des positions aprioriques mais d'analyser objectivement les théories explicatives en présence et de conserver les plus pertinentes : la confrontation des phénomènes aux calculs paraît être un élément déterminant le choix final. Par ailleurs, les travaux de Mathon reflètent l'évolution de la dynamique au cours du siècle puisque, outre la mécanique des *Principia*, il publie un traité ayant notamment pour sujet la mécanique de systèmes à liaisons ; les principes de dynamique à la base de ce traité sont aussi ceux de la science de Newton.

Sur le versant des mathématiques, Rabuel propose une exégèse du texte de Descartes, plutôt qu'une réinterprétation moderne ; s'il fait place dans ses *Commentaires* à des considérations sur le calcul infinitésimal, ceci reste assez marginal. Mais ce texte, tout comme celui des *Elémens de mathématiques* de Duclos qui ne contient pas non plus de calcul différentiel et intégral, est avant tout un manuel, reconnu et estimé. Si le texte de Rabuel fait aussi place aux critiques de l'époque sur les préceptes de la géométrie cartésienne qu'il ne suit pas tous à la lettre, *La Géométrie* reste néanmoins un modèle et la source essentielle de son enseignement.

« Cartésiens »-« Newtoniens », quels enseignements ?

L'introduction a recensé un certain nombre de thèses caractérisant les relations entre les « Cartésiens » et les « Newtoniens » et s'est attachée aux définitions données à ces deux appellations par les acteurs de l'époque. Dans quelles mesures ces thèses et ces définitions rendent-elles compte de l'activité scientifique des savants lyonnais décrite dans l'introduction et dans nos sept chapitres ?

² Ainsi peut-on dénombrer la participation à 5 prix de l'Académie de Bordeaux (1726, 1733, 1735, 1747, 1748), à 4 de celle Paris (1730, 1734, 1738, 1753), à 1 de l'Académie de Saint-Petersbourg. Soulignons aussi la participation de Lozeran du Fesc au concours de l'Académie royale des sciences de Paris de 1740 sur le flux et le reflux de la mer (voir chapitre III).

Soulignons, tout d'abord, l'existence d'une ligne de partage en mécanique céleste, entre ceux qui pratiquent une science tourbillonnaire (Villemot, Grégoire, Duclos, Cayer, Rey) et ceux favorables à Newton (Mathon, Béraud, et manifestement Tolomas) ; remarquons aussi que des contributions en physique (Lozeran, Béraud, Cayer) relèvent du mécanisme. Sur la période qui nous importe, la majorité des travaux de savants lyonnais ont donc pour cadre théorique le mécanisme et, manifestement, il existe au sein des académies des visions opposées sur les principes et les méthodes explicatives des phénomènes. Ainsi, du Perron souligne « la foiblesse du physicien » en évoquant Newton qui ne donne pas de causes mécaniques, l'abbé Cayer émet des doutes sur le vide, et Béraud, en s'appuyant sur une lecture de Newton, conçoit que la lumière se propage dans le plein. Les critiques de Castel sont certainement les plus systématiques et les plus développées. Pour autant, cela n'empêche pas, comme remarqué, que Cayer fasse élire Le Seur et Jacquier, que Mathon propose comme associé Lozeran du Fesc et lise les mémoires de ce savant aux séances de l'ABA ; au demeurant, Alexis Fontaine des Bertins, dont les travaux en astronomie relèvent de la mécanique newtonienne, a de l'admiration pour Lozeran.

Il existe ainsi une ligne de partage et une cohabitation au sein des académies. Mais les catégories souvent trop tranchées opposants les « Cartésiens » aux « Newtoniens » ne doivent pas masquer des pratiques individuelles et les contextes dans lesquelles elles s'épanouissent. Les travaux de Béraud semblent exemplaires à cet égard. Ce savant critique des explications mécanistes de phénomènes célestes, accepte la loi de gravitation de Newton comme une loi primitive du Créateur, mais développe aussi une physique basée sur les pressions de fluides subtils ayant de nombreux points communs avec ce que proposent Lozeran du Fesc et Privat de Molières. Ce qui pourrait relever d'un éclectisme singulier tient aussi de l'air du temps. D'Alembert, tout en reconnaissant la valeur de cette loi de Newton, émet des réserves sur la généralisation des actions à distances aux phénomènes physico-chimiques. S'il reconnaît qu'il est difficile de refuser d'expliquer les phénomènes magnétiques par l'action d'un fluide, et s'il écrit « les phénomènes de l'aimant sont vraisemblablement produit par une matière subtile », il affirme aussi qu'entre ce type d'action et un autre « nous ne voyons rien d'assez établi sur ce sujet pour nous décider » et préconise de recueillir des faits et de les mettre en relation plutôt que d'en chercher les causes³. La physique d'alors est un domaine aux fondements incertains et aux contours flous. La pratique de Béraud reflète aussi une certaine mise à distance des systèmes, éloignement qui caractérise le tournant que prend la physique de l'époque⁴. En somme, la science de Béraud, en s'inspirant de Malebranche sans pour autant le suivre à la lettre et en acceptant la loi de Newton car les phénomènes le suggèrent, témoigne d'une adaptation des systèmes à « l'exacte mesure des circonstances et [des] besoins » pour reprendre une formule de la Préface de Denis Reynaud.

Mais de quel(s) mécanisme(s) parle-t-on ? Une trop forte polarisation Descartes-Newton tend à masquer les mutations des théories de Descartes et à associer sous une unique appellation commode – les « Cartésiens » – des pratiques scientifiques dont les principes et les méthodes sont différentes. Il est notable que Descartes est beaucoup discuté dans les académies lyonnaises, qu'il s'agisse des critiques de Lombard, de du Perron, ou de celles de Lozeran et de Béraud, pour ne nous en tenir qu'à ceux que l'historiographie qualifierait de « Cartésiens ». On comprend alors les limites d'une catégorie insuffisamment définie ou, du moins, qui n'explicite qu'insuffisamment, sinon manque, la diversité des courants traversant le mécanisme. De fait, la théorie céleste de Descartes ne correspond plus à celle proposée par Villemot et à celle du père Grégoire qui ont toutes deux davantage à voir avec les travaux de Malebranche, de Privat de Molières etc. Les sources académiques suggèrent que Malebranche est une figure essentielle. Des interventions de Lombard, de Duclos et du père Castel témoignent de la prise de conscience de l'importance de la réforme de la philosophie naturelle de Descartes opérée par ce philosophe. Via les petits

³ Voir ses articles « Attraction », *Encyclopédie*, t. I (1751), p. 850b-853b et « Magnétisme », *Encyclopédie*, t. IX (1765), 860a-860b. Voir aussi le *Discours préliminaire des éditeurs*, *Encyclopédie*, t. I (1751), p. vij.

⁴ Voir à ce sujet Heilbron, *Electricity in the 17th & 18th Centuries*, p. 13.

tourbillons, Malebranche est au cœur des œuvres de Lozeran et de Béraud, le premier reconduisant par ailleurs des éléments de philosophie occasionnelle. Les prix remportés par ces deux savants illustrent la reconnaissance institutionnelle de ce nouveau mécanisme qui, concernant la conception de la matière, la métaphysique du mouvement, les lois du mouvement, les principes et des méthodes explicatives s'éloigne profondément des *Principes de la philosophie* de Descartes. Enfin, lorsque Mathon affirme que l'attraction pourrait être une loi divine au même titre que les lois de l'impulsion et que, finalement, toutes deux nous sont incompréhensibles, son propos fait écho à celui de Maupertuis lequel s'appuie sur des arguments malebranchiens.

Guerlac, en soulignant l'importance de Malebranche, a discuté la pertinence de la dichotomie Descartes-Newton et celle de l'étiquette « Cartésiens » accolées à des savants comme Molières ou Dortous de Mairan. Si, indéniablement, comme le montre Borghero, Molières et son élève Le Corgne critiquent les « Newtoniens » et sont au cœur d'une polémique – qui les oppose notamment à Sigorgne – l'historien, en recourant à une appellation commune « Cartésiens », et en considérant que la réforme du mécanisme proposée par Malebranche et poursuivie par Privat de Molières ne consiste qu'à « reformuler [...] la théorie cartésienne » minimise trop, sinon ignore, l'importance et l'impact de cette réforme. Si Molières et d'autres se revendiquent « Cartésiens » dans un contexte polémique face à un « Newtonien » – Sigorgne –, pour autant une analyse de leurs travaux montrent à quels points ils critiquent Descartes et expliquent les mêmes phénomènes différemment que leur illustre aîné. Il n'y a plus guère que « l'esprit du cartésianisme », suivant le mot de Dortous de Mairan, pour les faire se rejoindre. Un « esprit » reposant sur l'usage de tourbillons et/ou un univers sans espace vide⁵, sur l'idée qu'une philosophie naturelle doit proposer un système global, et que ce système est perfectible. Pour Brunet, Aiton, Shank, « Cartésien » renvoie essentiellement aux savants pratiquant une physique tourbillonnaire. Shank souligne l'importance de Malebranche essentiellement à travers l'essor d'une mécanique analytique que l'historien conçoit comme un vecteur pour la diffusion et la conversion aux théories de Newton. *A contrario*, l'organisation déductive de la mécanique proposée par Molières suivant un style euclidien et sans développer une approche analytique illustrerait un « French Cartesianism in both physical and methodological/epistemological aspects ». Force est de constater, cependant, que l'historien ne définit pas ce qu'est ce « cartésianisme » en physique⁶. Pour leur part, Home et Principe montrent les limites des catégories « Cartésien » et « Newtonien » et ces travaux suggèrent l'abandon de ces termes.

Aussi, il semble prudent, sinon nécessaire, d'examiner au plus près ce que sont ces « tourbillons », d'étudier la nature des corps dont ils se composent, de rendre compte des lois que ces corps suivent et la manière dont elles sont justifiées, de remarquer aussi que pour des savants (Jean (I) Bernoulli, Gamaches) ces tourbillons n'emportent pas les planètes, d'analyser le détail des explications physico-chimiques et les principes et méthodes qui les régissent etc. Ces examens conduisent à une pluralité de sens à accoler au vocable « Cartésien » dont l'Introduction de notre ouvrage ne propose qu'une esquisse, et à la mise en évidence d'une diversité de pratiques que nos chapitres cherchent à illustrer. Les modifications ou rejets des théories de Descartes peuvent être le fait de savants travaillant dans le cadre de la philosophie mécanique et/ou déterminés par les théories de Newton ; dans les deux cas, ils appellent à une étude des formes que revêt le mécanisme au XVIII^e siècle pour restituer fidèlement des pratiques scientifiques dans toute leur complexité.

C'est cette complexité, mais aussi plus globalement la diversité des pratiques scientifiques au sein d'une institution dans la première moitié du XVIII^e siècle, que le présent ouvrage a essayé de documenter. Sans autres prétentions que celles de susciter d'autres études sur notre thème et de faire entendre les voix d'alors notamment à l'aune d'un riche fonds d'archives.

⁵ Rappelons que pour certains de ces « Cartésiens » les planètes ne sont pas emportées par ces tourbillons.

⁶ Il faut aussi souligner que si Privat de Molières ne recourt pas à l'analyse, c'est que son ouvrage est aussi un manuel destinés aux collégiens. Au demeurant, Shank n'analyse pas le contenu du très analytique *Astronomie physique* de Gamaches, auteur qui se réclame explicitement de Malebranche, et que l'historien considère comme un porte-parole du « cartésianisme ». Pour cette citation de Shank, nous renvoyons à l'Introduction.

Annexes

Cette partie regroupe les documents suivants introduits pour certains (Annexes II et IV) par de courtes présentations :

- I. Table des matières des *Commentaires sur la Géométrie de M. Descartes* de Claude Rabuel publiés en 1730.
- II. Manuscrit inédit de Jacques Mathon de la Cour intitulé *Premier mémoire sur l'introduction à la physique de Newton* lu le 23 mars 1740 et en assemblée publique le 7 décembre 1740 à l'ABA.
- III. Manuscrit inédit du père Charles Pierre Alexandre Xavier Tolomas, *Sur le Newtonianisme de Pemberton* correspondant à une adaptation critique de la Préface de l'ouvrage de Henry Pemberton, *A View of Sir Isaac Newton's Philosophy* (1728) lue à l'ABA le 28 juin 1747.
- IV. Manuscrit du discours de Jean-Pierre Christin prononcé à l'assemblée publique de l'ABA du 5 décembre 1752 intitulé *Reflexions sur la Theorie des tourbillons de M. De fontenelle* correspondant à un extrait du mémoire portant le même titre du père Laurent Béraud lu à l'académie le 5 juillet 1752 et publié dans le *Mercure de France* du mois de février 1753.

Principes de transcription des manuscrits :

Nous avons conservé la graphie originale, à deux exceptions près. Nous avons rétabli :

- les apostrophes manquantes,
- les majuscules en début de phrase.

Pour le reste, le respect de l'original ne gêne pas la lecture.

Les ratures, qui ne sont pas nombreuses et n'apportent pas spécialement d'informations, ne sont pas reproduites.

Les interventions des transpositeurs sont entre crochets droit [].

Pour l'Annexe II, nous avons ajouté les traductions de la marquise du Châtelet pour les citations latines de Newton et nous avons mis les énoncés des propositions des *Principes* de Newton en italiques. Enfin, il y a sur les manuscrits des mentions marginales, dont il n'est pas précisé si ce sont des notes ou des ajouts ; nous avons considéré qu'il s'agissait de notes.

Annexe I

Cette annexe comprend la table des matières détaillée des *Commentaires sur la Géométrie de M. Descartes* (1730) de Claude Rabuel. Elle se décompose en parties, sections et articles. Nous avons complété et corrigé les entrées de la table des matières d'origine (sans doute due au P. Lespinasse) en indiquant en particulier les titres des parties et des articles qui n'y sont pas reportés.

LIVRE PREMIER [sans titre]¹

PARTIE PREMIERE Introduction à la Geometrie de M. Descartes	p. 3
Section I [<i>sans titre</i>]	p. 3
Section II <i>Comment le calcul de l'Arithmetique se rapporte aux operations de la Geometrie</i>	p. 6
Article I Comment les Operations de l'Arithmetique se font sur les lignes droites	p. 7
Article II Le Rapport des operations de l'Arithmetique avec celle de la Geometrie	p. 9
Article III L'unité peut ordinairement être prise à discrétion	p. 12
Article IV Si les termes du calcul Arithmetique introduits dans la Geometrie nous [les] rendent plus intelligibles	p. 13
Section III Comment on peut user de chiffres en Geometrie	p. 14
Article I Pourquoi M. DESCARTES employe les lignes de la Geometrie ordinaire avec les lettres & les caracteres de l'Algebre	p. 15
Article II a^2 , b^3 , &c. Representent ordinairement de simples lignes	p. 15
Article III Toutes les parties d'une ligne doivent ordinairement avoir autant de dimensions les unes que les autres	p. 17
Section IV Comment il faut venir aux équations, qui servent à résoudre les Problèmes	p. 18
12[et 1] Regles generales pour les Problèmes	p. 20
PARTIE SECONDE Methode pour resoudre les Problèmes de la Geometrie ordinaire, ou les Problèmes plans	p. 47
Article I Explication de la Resolution des Problèmes, que l'on vient de rapporter	p. 48
Article II Autres manieres de resoudre les Problèmes plans	p. 54
Article III Tous les Problèmes de la Geometrie ordinaire peuvent se construire par les choses, que M. DESCARTES a dit jusqu'à présent	p. 59
PARTIE TROISIEME Le commencement de la Question de Pappus	p. 61
Section I <i>La question de Pappus est proposée</i>	p. 61
Article I Explication	p. 64
Article II Si le lieu est plan, lorsque les lignes données dans le Problème de Pappus, ne sont que deux	p. 67
Section II <i>Réponse à la question de Pappus</i>	p. 72
Section III <i>Le commencement du calcul pour le Problème de Pappus</i>	p. 74
Section IV <i>Reflexions sur le calcul précédent</i>	p. 78
Section V <i>Comment on connoît de quel degré est un Problème, & comment on trouve tous les points, qui satisfont à un Problème</i>	p. 80
Article I Comment on connoît de quel degré est un Problème	p. 82
Article II Comment on trouve tous les Points qui satisfont à un Problème	p. 87

LIVRE II De la nature des lignes courbes

¹ Rabuel ne reporte pas le titre qui figure dans *La Géométrie* : « Des problemes qu'on peut construire sans y employer que des cercles & des lignes droites ».

PARTIE I De la nature des lignes courbes	p. 91
Section I <i>Des Problèmes Geometriques</i>	p. 91
Section II <i>Des lignes Geometriques & des Mechaniques</i>	p. 93
Article I Ce que c'est que Geometrique & Mechanique	p. 95
Article II Quelles lignes sont appellées Geometriques ou Méchaniques	p. 97
Article III De quelques lignes Geometriques & Méchaniques	p. 100
Section III <i>De l'instrument inventé pour les moyennes proportionnelles. Et des courbes qui se décrivent avec cet instrument</i>	p. 106
Section IV <i>De la division des lignes courbes en certains genres, de leur simplicité, & de leur description</i>	p. 108
Article I De la Division des lignes courbes en certains genres	p. 111
Article II Quelles lignes sont les plus simples	p. 112
Article III Differentes manieres de décrire les lignes courbes	p. 114
§ I La courbe décrite Figure 53 est une Hyperbole	p. 115
§ II Le même instrument sert à décrire des courbes de differens genres	p. 119
§ III Methode pour décrire une Courbe en cherchant plusieurs de ses points	p. 127
§ IV Autres Methodes pour décrire les Courbes	p. 138
 PARTIE SECONDE Suite de la question de Pappus	 p. 145
Section I <i>Solution generale du Problème de Pappus</i>	p. 145
Section II <i>Solution particuliere du Problème de Pappus, lorsqu'il n'est proposé qu'en trois ou quatre lignes</i>	p. 146
Article I Suite de la resolution du Problème commencée au Livre I	p. 147
Article II Commencement de la construction commune à tous les Problèmes	p. 154
Article III Construction particuliere à la ligne droite	p. 156
Article IV Construction commune aux trois Sections coniques, & au cercle	p. 166
Article V Construction particuliere à la Parabole	p. 168
Article VI Construction particuliere au cercle & à l'ellipse	p. 184
Article VII Construction particuliere à l'Hyperbole considérée par rapport à ses diamètres	p. 209
Article VIII Construction particuliere à l'Hyperbole considérée par rapport à ses Asymptotes	p. 236
Article IX Démonstration que M. Descartes donne du Problème de Pappus appliqué au Cercle de Fig. 69	p. 242
Article X Des lieux plans & solides, & de la maniere de les connoître	p. 245
Section III <i>Solution particuliere du Probleme de Pappus, lorsqu'il est proposé en cinq lignes</i>	p. 254
Article I Les cinq lignes données sont parallèles à une seule	p. 256
Article II Quatre lignes sont parallèles, & une cinquième les coupe	p. 258
Article III Quelle est la ligne courbe la plus simple, qui donne la résolution du Problème de Pappus proposé en cinq lignes droites	p. 282
Article IV Cinq lignes étant données, les points cherchez peuvent être en une ligne droite, en un cercle, ou en une Section conique. Et trois ou quatre lignes étant données, ils peuvent être sur une courbe d'un genre plus élevé	p. 284
Article V Si le Problème de Pappus peut être proposé d'une maniere entièrement impossible	p. 285
Article VI Des differentes Especies de courbes, & de leur description	p. 285
 PARTIE TROISIEME Les proprietes des lignes courbes Geometriques se déduisent de leur équation	 p. 289
Section I <i>Des proprietes en general des lignes courbes déduites de leur équation</i>	p. 289
Section II <i>Methode pour mener les Tangentes des Courbes</i>	p. 297

Article I Commencement de la Methode pour mener les tangentes des courbes	p. 299
Article II Fondement de la Methode pour mener les tangentes des courbes	p. 304
Article III Suite de la Methode pour mener les tangentes des courbes	p. 308
Article IV Cette Methode sert à mener les tangentes des courbes, le point donné n'étant pas sur l'axe au dedans de la courbe	p. 316
Article V Cette Methode sert à d'autres Problèmes qu'à celui des tangentes	p. 319
§ I Cette Methode sert à trouver les points d'inflexion des courbes	p. 320
§ II Cette Methode sert aux questions de <i>Maximis & Minimis</i>	p. 323
Article VI De la construction des tangentes	p. 332
Article VII Autres manieres de tirer les Tangentes des Courbes	p. 333

PARTIE QUATRIEME De quelques Figures de verres, qui servent à la reflexion & à la refraction de la lumiere p. 337

Section I <i>De la reflexion & de la refraction de la lumiere</i>	p. 338
Section II <i>La description des quatre Genres d'Ouales</i>	p. 340
Section III <i>Les Proprietez de ces Ouales par rapport à la reflexion & à la refraction de la lumiere, & la démonstration de ces proprietez</i>	p. 345
Article I Les proprietez du premier genre d'Ouales	p. 348
Article II Les proprietez du second genre d'Ouales	p. 357
Article III Les proprietez du troisième genre d'Ouales	p. 364
Article IV Les proprietez du quatrième genre d'Ouales	p. 366
Section IV <i>De la Reflexion & de la Refraction de la lumiere dans les courbes du premier genre</i>	p. 370
Section V <i>La Figure qu'il faut donner aux verres, pour qu'ils réunissent à un point donné, les rayons qui viennent d'un autre point donné</i>	p. 374
Article I Les verres ont l'une de leurs superficies autant convexe, ou concave, que l'on veut	p. 374
Article II La convexité de l'une des superficies des verres a la proportion donnée avec la convexité de l'autre	p. 383
Article III De quelques cas, que M. DESCARTES n'a pas resolu	p. 390
Article IV Comment M. DESCARTES a pû trouver ce qu'il enseigne dans cette quatrième Partie	p. 393

PARTIE CINQUIEME Des lignes qui se décrivent sur une surface courbe p. 398

LIVRE III De la construction des Problèmes, qui sont solides, ou plus que solides

PARTIE PREMIERE De quelles Lignes ont peut se servir en la construction de chaque Problème p. 412

Section I <i>De l'instrument inventé pour trouver des moyennes proportionnelles</i>	p. 413
Section II <i>Des lignes dont il faut se servir pour la construction d'un Problème</i>	p. 418

PARTIE SECONDE De la nature des équations, & de leur préparation p. 420

Section I <i>De la nature des Equations</i>	p. 420
Article I Des racines d'une Equation	p. 420
Article II De la formation des Equations	p. 422
Article III Connoître combien dans une équation il y a de racines vrayes, & combien de fausses	p. 427
Section II <i>Preparation des Equations</i>	p. 429
Article I Changer les Racines fausses d'une Equation en vrayes, & les vrayes en fausses	p. 430
Article II Augmenter ou diminuer les racines d'une équation, sans les connoître	p. 431

Article III Oter le second terme d'une Equation	p. 435
Article IV Faire que toutes les fausses racines d'une equation deviennent vrayes, sans que les vrayes deviennent fausses : & que la quantité connuë du troisième terme soit plus grande que le quarré de la moitié de celle du second	p. 439
Article V Faire que toutes les places d'une Equation soient remplies	p. 441
Article VI Multiplier & diviser les racines sans les connoître	p. 442
Article VII Oter les fractions & les incommensurables d'une équation	p. 444
Article VIII Rendre la quantité connuë de l'un des termes d'une équation égale à telle autre quantité que l'on voudra	p. 448
Article IX Délivrer la haute puissance d'une Equation des quantitez, qui la multiplient, ou qui la divisent	p. 449
Article X [sans titre]	p. 450
PARTIE TROISIEME De la Resolution des Equations	p. 450
Section I <i>Trouver le plus grand diviseur commun de deux quantitez, & tous les diviseurs d'une quantité</i>	p. 451
Article I Trouver le plus grand diviseur commun de deux quantitez	p. 451
Article II Trouver tous les diviseurs d'une quantité	p. 453
Section II Découvrir toutes les Racines d'une Equation	p. 454
Section III <i>La reduction des Equations cubiques</i>	p. 462
Article I La reduction des Equations cubiques, lorsque le Problème est plan	p. 462
Article II La reduction des Equations cubiques, lorsque le Problème est solide	p. 471
Section IV [sans titre]	p. 472
Article I La reduction des Equations de quatre dimensions, lorsque le Problème est plan : & quels sont ceux, qui sont solides	p. 472
Article II Exemple de ces sortes de Reductions	p. 482
Article III Les Problèmes de trois & quatre dimensions ne demandent pas toujours ces Operations	p. 490
Section V <i>Regle generale pour reduire les Equations de toutes sortes de dimensions</i>	p. 491
Article I Pour les Equations de trois dimensions	p. 492
Article II Pour les Equations de quatre dimensions	p. 496
Article III Pour les Equations de cinq dimensions	p. 500
Article IV Pour les Equations de six dimensions	p. 504
PARTIE QUATRIEME [sans titre]	p. 509
Section I <i>La façon generale de construire les Problèmes reduits à une Equation de trois ou quatre dimensions</i>	p. 509
Article I Construction des Equations cubiques	p. 511
Article II Construction des Equations quarré-quarrées	p. 517
Section II <i>Utilité des Regles de la Section I</i>	p. 524
Article I Methode pour construire une Equation déterminée solide	p. 525
Article II Trouver deux & trois moyennes proportionnelles	p. 529
Article III Diviser un Arc donné en trois parties égales	p. 533
Article IV Lorsqu'un cercle coupe une parabole des deux côtez de l'axe, les appliquées, qui sont d'un côté, prises ensemble, sont égales aux appliquées prises ensemble, qui sont de l'autre	p. 540
Article V Description des courbes par leur Equation solide	p. 543
Section III <i>Tous les Problèmes solides se peuvent reduire à trouver deux moyennes proportionnelles, ou à diviser un angle en trois parties égales</i>	p. 545
Section IV <i>Exemples de Problèmes solides</i>	p. 557
Article I Incrire un Eptagone & un Enneagone dans le cercle	p. 557

Article II Exemple du Problème de Pappus proposé en 6. 7. 8. lignes	p. 559
Section V <i>Pourquoi les Problèmes solides ne peuvent être construits sans les Sections coniques ; ni ceux qui sont plus composés sans quelques autres lignes plus composées</i>	p. 563
PARTIE CINQUIEME [sans titre]	p. 566
Section I <i>Façon generale pour construire tous les Problèmes reduits à une équation, qui n'a point plus de six dimensions</i>	p. 566
Section II <i>Exemples</i>	p. 577
Section III <i>Autre Methode pour construire les Equations de cinq ou six dimensions</i>	p. 586
Section IV <i>Description des Courbes par leur Equation du cinquième ou du sixième degré</i>	p. 589

Annexe II

Présentation

Le manuscrit *Premier mémoire sur l'introduction à la physique de Newton* de Jacques Mathon de La Cour (Ms 200, f. 34-41) est le premier discours au sein de l'ABA exposant des éléments de la science newtonienne, éléments tirés des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*. D'après ses sous-titres, le discours suit le plan suivant :

- « Introduction à la physique de Newton »
- « Ce que c'est que l'attraction de Newton et si elle est une qualité occulte »
- « Preuves de l'attraction mutuelle des corps », section composée de six « propositions »

La première section s'ouvre par l'évocation du climat opposant les « sectateurs » de Newton et ceux de Descartes. Mathon entend examiner si les « raisonnements » de Newton reposent sur des « principes » et des « faits » suffisamment établis. Il souligne la difficulté à lire le livre de Newton, livre que les pères minimes Thomas Le Sueur et François Jacquier (*Philosophia Naturalis Principia Mathematica. Auctore Isaaco Newtono, 1739-1742*) et le « poète de premier ordre », à savoir Voltaire (*Elémens de la philosophie de Newton, 1738*), se sont efforcés, chacun à leur manière, de rendre accessible au public. Mais les premiers donnent dans leurs commentaires des *Principes* trop de détails pour que leur ouvrage ne soit qu'une « introduction » et, concernant Voltaire, Mathon estime que Newton ne peut pas être mis à la portée de tous. Il souhaite trouver un équilibre expliquant l'attraction et ses preuves pour ceux ayant une « teinture médiocre de Geometrie », ce qui implique aussi un écrit d'un autre genre que les *Entretiens sur la pluralité des mondes* (1686) de Fontenelle (l'« ingénieux auteur »).

La deuxième section est une défense de l'attraction contre les accusations faites à Newton de réintroduire les « qualités occultes » des anciens. Mathon précise que Newton a toujours cherché à prouver l'existence de cette force et non à en donner la cause. Il ajoute que Newton aurait pu invoquer l'hypothèse que cette gravitation est une loi de la nature imposée par le Créateur, comme Descartes l'a fait pour ses lois du mouvement. Mais Mathon remarque que pour Newton il s'agit d'un fait, que le savant n'admet pas d'hypothèses sur l'origine de cette force, et qu'il ne se base que sur des observations et des calculs. Par conséquent, on ne peut le « combattre » que sur ces deux terrains qui constituent alors l'ultime section du manuscrit.

Dans cette dernière, Mathon donne un abrégé de la théorie des forces centrales de Newton, à savoir essentiellement quelques propositions de la « Seconde section » du Livre I des *Principes* de Newton intitulée « De la recherche des forces centripètes », et confronte la théorie aux phénomènes. Dans les propositions « première » à « troisième », Mathon regroupe et redémontre les Propositions I à IV des *Principes* de Newton (suivant la numérotation de l'édition de 1726 de ce livre). Sa « Proposition quatrième » correspond à la Proposition XI, à savoir l'expression de la force centrale qui suit la loi en $\frac{1}{r^2}$ lorsque le centre de force est au foyer d'une ellipse ; pour cette relation qu'il n'établit pas, Mathon renvoie aux travaux d'Abraham de Moivre (*Proprietates quadam simplicis Sectionum Conicarum ex natura Focorum deductæ ; cum Theoremate generali de Viribus Centripetis, 1720*) et de Christian Wolff (*Elementa matheosos universæ, vol. 2, 1733, p. 166-169*). La proposition « cinquième » confronte cette dernière loi aux faits expérimentaux (il s'agit pour Newton de la Proposition IV du Livre III) et identifie la force centripète qui anime la Lune à sa pesanteur ; la proposition « sixième » fait intervenir la quantité de matière des corps dans cette loi et énonce le caractère universel de la gravitation (Propositions V à VII du Livre III pour Newton).

Le manuscrit se veut ainsi un examen objectif de la « physique » newtonienne basé sur des réflexions concernant le statut de la force de gravitation, sur une analyse de certaines propositions des *Principes* et sur leur confrontation aux phénomènes. Ces deux derniers aspects sont, aux yeux de Mathon, les seuls à devoir entrer en ligne de compte dans l'évaluation de la pertinence de la théorie de Newton. Le manuscrit s'apparente alors à une défense de cette théorie.

Manuscrit

Ms 200, f. 34-41

[f. 34r]

n° 210

**Premier memoire
sur
L'introduction à la physique
de Newton
Lû à l'academie des beaux arts de Lyon le 23e mars 1740**

et a l'assemblée publique du 7e decembre suivant
par Mr Mathon de la cour

[f. 35r]

Introduction a la physique
de Newton

N° 210.

[en marge]

Lû a l'academie des beaux arts le 23 mars 1740 et a l'assemblée publique du 7 decembre de la meme année par M. Mathon

[texte]

La physique de Newton tient aujourd'huy un rang trop considerable dans le monde scavant, elle est attaquée et defendue avec trop de vivacité de part et d'autre, pour qu'on ne soit pas curieux d'etre instruit des sentimens de ce grand philosophe. D'un coté le poids de ses sectateurs, de l'autre le grand nombre de ses adversaires rendent la dispute tres echauffée et font penser qu'elle n'est pas prette a finir. On voit tout a la fois de tres habiles gens regarder le systeme de Newton comme un tissu de visions et de chimeres, et en meme temps une nation sçavante qui donne en quelque façon le ton a l'Europe dans les matieres de Geometrie et de physique, pousser presque jusqu'a l'adoration ses sentimens d'estime et de veneration pour ce grand homme quelle a produit, et quelle regarde avec raison comme un de ses principaux ornemens.

Le parti de Descartes n'a pas été renversé, mais on ne sçauroit nier qu'on ne luy ait porté de tres rudes coups et d'autant plus terribles que si descartes a terrassé les Scolastiques avec le secours du raisonnement et de l'experience, les Neutoniens l'attaquent aujourd'huy luy meme par demonstrations et avec nombre d'experiences et d'observations tres exactes. Ils accordent au philosophe françois la gloire d'avoir fabriqué un sisteme tres ingenieux, mais peu vraysemblable : on luy laisse l'honneur d'avoir fait revenir du gout ou l'on estoit avant luy d'etudier la physique dans les livres des anciens, au lieu de consulter la nature et la raison ; mais on ne veut plus d'hypotheses on n'admet pour principes que des experiences ou des axiomes, et l'on a raison de croire qu'un edifice bati sur ces fondemens sera d'une solidité a toute epreuve.

Il reste a sçavoir si les raisonnemens de Neuton sont aussi forts que ses sectateurs nous le disent, s'ils sont appuyés sur des principes et sur des faits suffisamment etablis ; car de quoy serviroit de quitter un systeme pour en embrasser un autre aussi incertain, cela vaudroit il la peine de changer ?

Cet examen n'est pas aisé, le livre de Neuton est tres obscur, il a fait comme la plupart des inventeurs se contentant de publier ses idées, et laissant a d'autres le soin de les developper, de les arranger, de lier des propositions entre lesquelles il y a encore un grand vuide, en un mot de les mettre a la portée de ses lecteurs.

Les R.P. Le seur et jacquier minimes françois etablis a rome ont voulu rendre ce service au public, ils ont fait imprimer le premier volume d'un commentaire sur son fameux livre intitulé philosophiae naturalis principia mathematica. Leurs [f. 35v] programmes avertissent qu'ils suivront cet auteur pas a pas pour en eclaircir toutes les propositions. Cet ouvrage doit etre en trois volumes in 4°, ce qui fait un livre un peu trop gros pour ceux qui ne veulent pas entrer dans un si grand detail ; il y a d'ailleurs plusieurs propositions dont on a aujourd'huy des demonstrations plus courtes, plus faciles et plus generales que celle de Newton ; quand une fois

une vérité est trouvée, il se présente souvent des routes plus aisées que celles que l'inventeur a suivies.

On auroit besoin d'un livre plus court qui pût en servant d'introduction à la lecture de Newton, donner une idée suffisante de sa physique à ceux qui n'en demandent pas davantage.

Un auteur fameux dans un autre genre d'écrire a tenté un ouvrage à peu près dans le goût de celui que je propose. Il a voulu nous montrer que le titre de poète de premier ordre, n'étoit pas incompatible avec celui de Geometre profond et de philosophe sublime ; mais j'ose dire que le projet de mettre Newton à la portée de tout le monde n'est pas possible. Il est une moitié du monde pour laquelle Newton n'écrivit jamais ; les raisonnemens de ce philosophe sont appuyés sur des preuves geometriques ou sur des observations astronomiques trop abstraites pour plaire, par exemple, à un sexe que nos mœurs empêchent de se livrer à des études si sérieuses, et l'on ne peut en retrancher ces preuves sans défigurer entièrement l'original. L'ingenieux auteur de la pluralité des mondes avoit choisi un sujet plus propre à être embelli par les fictions agréables d'une imagination toujours enjouée et toujours gracieuse. Des hommes dans la lune ou dans les planètes peuvent amuser ; mais des forces centrifuges ou centripètes, des résistances de milieu, des ellipses des sphéroïdes ne sauraient faire fortune à une toilette, et ne sont propres que pour ceux qui cherchent à s'instruire et non à se divertir.

Il faut donc nécessairement le prendre sur un ton plus sérieux, et c'est assez que de pouvoir mettre la physique de Newton à la portée de ceux qui ont une teinture médiocre de Geometrie. C'est ce que j'essaye de faire aujourd'hui sur un point fondamental du système Newtonien, c'est à dire sur l'attraction, je n'épuiserai pas la matière dans une fois ; c'est assez pour le présent de tâcher d'expliquer ce qu'est l'attraction Newtonienne et quelles en sont les preuves principales.

Mon but est d'exposer le plus fidèlement qu'il me sera possible les sentimens de Newton afin de pouvoir ensuite comparer sa physique avec les systèmes de Descartes et des autres philosophes tant anciens que modernes. Peut être qu'en approfondissant cet auteur on ne le trouvera pas aussi infaillible que ses disciples veulent nous le faire croire ; mais je suis persuadé que la plupart de ceux qui déclament contre lui, trouveront après avoir mieux examiné les preuves de ses sentimens, qu'il n'est pas aussi aisé de les détruire qu'ils se le sont imaginé faute de les connaître suffisamment.

[f. 36r]

Ce que c'est que l'attraction de Newton et si elle est une qualité occulte.

Newton a cru trouver dans la nature des preuves évidentes d'un phénomène merveilleux qui lie ensemble tous les corps dont le monde est composé, et produit une partie des effets dont l'explication embarrassé si fort les astronomes et les physiciens. Il prétend que chaque corps est un centre vers lequel tendent tous les autres corps qui sont dans l'univers ; la force qui les porte à se réunir est d'autant plus grande qu'ils contiennent plus de matière, ou qu'ils sont plus près les uns des autres, et quand ils s'éloignent cette force diminue en raison des carrés des distances.

Il lui a donné le nom de force centripète, vis centripeta, de gravité ou d'attraction, en avouant qu'il en ignoroit la cause ; mais quoique ce soit qui la produise son existence, dit-il, n'en est pas moins certaine. La pesanteur qui fait que les corps graves tendent vers le centre de la terre en est une suite ; ainsi une pierre qui tombe pèse en même temps vers la terre, vers le soleil, la lune et tous les astres. Elle tombe vers la terre parce qu'étant infiniment plus près d'elle que des astres, la force qui la pousse vers le centre de la terre est infiniment plus grande que celle qui la porte vers

les astres. Cette pierre est a son tour un centre vers lequel tout l'univers pese : comme elle est extremement petite en comparaison de la terre elle tombe vers la terre au lieu de l'attirer a elle.

Tout corps qui se meut en rond autour d'un centre doit tendre a s'en éloigner continuellement, a moins que quelque cause estrangere ne l'oblige a rester dans la meme distance. Pourquoi donc les planetes qui se meuvent autour du soleil et qui par la nature du mouvement circulaire tendent a s'en éloigner, sont elles retenues dans leur orbite ? quelle est la force qui les empeche de s'en écarter ? ce n'est autre chose, dit Neuton, que leur pesanteur vers le Soleil qui contrebalançant leur force centrifuge les tient en equilibre. Il n'est pas jusqu'aux anomalies du cours des astres qui ne paroissent causées par cette pesanteur universelle ; le flux de la mer en est une suite, la lune en passant au dessus de ses eaux les attire a elle, et produit les effets que Descartes a attribués a la pression de l'air qui coule entre la lune et la mer.

Le but de Newton a toujours été de prouver l'existence de cette force et non d'expliquer en quoy elle consistoit. Il ne dit point si c'est une loy que l'auteur de la nature a imposé a la matiere en creant le monde, comme il luy a imposé [f. 36v] celle de la communication du mouvement par l'impulsion, ou si elle ne seroit point produite par des ecoulemens de corpuscules comme celle qui tend a reunir le fer a l'aiman ; il semble donc que toute la question entre luy et ses adversaires doit se reduire a examiner les preuves qu'il donne de son sentiment, c'est un fait qu'il avance, il faut voir les experiences qui le prouvent.

Cependant il arrive ordinairement qu'au lieu d'examiner les preuves de son attraction, on se contente de luy opposer qu'il introduit les qualités occultes, et fait revivre toutes les chimeres de l'ancienne philosophie ; cette accusation est si mal fondée qu'il ne me sera pas difficile de le justifier pleinement.

On a blamé avec raison les philosophes qui croyoient expliquer suffisamment les effets de la nature, par les formes et les qualités qu'ils attribuoient aux corps, ceux par exemple qui pour expliquer la cause de la pesanteur, la disoient produite par une qualité ou une vertu dont la propriété est de faire tomber les corps en bas ; en effet une pareille explication n'apprend que ce que l'on sçait deja. Dire que le soleil eclaire parcequ'il est d'une qualite lumineuse, que la terre produit les plantes par une qualité productive, c'est vouloir etre sçavant a trop peu de frais. Descartes a fait sentir le ridicule de cette maniere de philosopher, il a enseigné que la matiere etoit indifferente par elle meme a produire un tel effet plutot qu'un autre, que les formes attribuées aux corps etoient de pures chimeres et qu'il falloit avoir recours a leur place, au tissu et a la configuration des parties, a la figure, a la situation et au mouvement des corps. On ne dit plus que le feu brule parcequ'il a une qualité brulante, mais que le mouvement violent des particules dont il est composé ebranle, desunit et dissout les corps auxquels il s'attache.

Descartes a cependant été obligé quelquefois de recourir a des loix imposées a la nature par une volonté particuliere du createur afin de determiner l'indifference de la matiere ; elle seroit en repos, dit il, si dieu ne luy avoit imprimé en la creant, un mouvement qui se perpetue en se communiquant. Les premieres loix du mouvement paroissent arbitraires, il faut aussi recourir a une volonté particuliere de dieu pour les determiner ; il a voulu qu'un corps mû rencontrant un autre corps en repos luy imprimât de sa force, il a fait une loy de cette impulsion qui n'est point une suite necessaire de l'essence de la matiere.

En raisonnant ainsi il n'a pas crû de tomber dans le defaut qu'il reprochoit aux scolastiques, ni de faire revivre les qualités occultes, parcequ'il employoit la volonté de dieu seulement pour donner a toute la nature des loix primitives et et [sic] generale, et non pour expliquer chaque effet par une volonté particuliere du createur.

[f. 37r]

Je suis en droit d'en conclure que Neuton auroit pû dire sans être blâmé que dieu a fait une loy de l'attraction, et expliquer par cette hypothese les effets de la nature. Ce n'eut pas été recourir à la sacrastie, comme on dit, parceque l'attraction est alors une loy primitive et universelle, une loy simple telle que celle de l'impulsion.

Mais sa cause est bien meilleure encore, il ne propose point l'attraction comme une hypothese ; je ne sçaurois trop le repeter, c'est un fait, c'est un phenomene qu'il a decouvert. S'il employe le mot d'attraction ou celui de force centripete, il nous avertit qu'il ne pretend point par ces termes decider de quelle maniere la chose arrive, ni parler en physicien qui explique la cause de cette union des corps, mais seulement en geometre qui en calcule les rapports.

Voicy ses propres termes. *Voces autem attractionis, impulsus, vel propensus cujuscumq; in centrum indifferenter et pro se promiscue usurpo, has voces non physice sed mathematice tantum considerando. Unde caveat lector ne per hujusmodi voces cogitet me speciem vel modum actionis causamve aut rationem physicam alicubi definire, vel centris quae sunt puncta mathematica vires vere et physice tribuere, si forte vel centra trahere aut vires centrorum essere dixerit.* [1713, p. 5 ; 1726, p. 6]

[traduction, marquise du Châtelet : « je prens ici dans le même sens les attractions & les impulsions accélératrices & motrices, & je me sers indifféremment des mots d'impulsion, d'attraction, ou de propension quelconque vers un centre car je considere ces forces mathématiquement & non physiquement ; ainsi le Lecteur doit bien se garder de croire que j'aie voulu désigner par ces mots une espece d'action, de cause ou de raison physique ; lorsque je dis que les centres attirent, lorsque je parle de leurs forces »]

Dans la preface de la section XI du Livre 1er

[Qua de causa] jam pergo motum exponere corporum se mutuo trahentium, considerando vires centripetas tanquam attractiones, quamvis fortasse, si physice loquamur, verius dicantur impulsus. In Mathematicis enim jam versamur, et proptere missis disputationibus physicis familiari utimur sermone, quo possimus a lectoribus mathematicis facilius intelligi. [1713, p. 147 ; 1726, p. 160]

[trad., marquise du Châtelet : Je vais expliquer les mouvements produits par ces forces que je nomme *attractions*, quoique peut-être je devrais plutôt les appeler *impulsions*, pour parler le langage des Physiciens ; mais je laisse à part les disputes qu'on peut élever sur cette dénomination, et je me sers des expressions les plus commodes pour les Mathématiciens.]

On voit par ce passage combien il étoit éloigné de dire que l'attraction étoit une qualité inherente au corps, puisqu'il penche à croire que les corps s'attirent par une espece d'impulsion.

Il en parle encore plus clairement dans la Scolie de la 69 proposition.

Vocem attractionis hic generaliter usurpo pro corporum conatu quocumque accedendi ad invicem, sive conatus iste fiat ab actione corporum vel se mutuo petentium, vel per Spiritus emissos se invicem agitantium, sive is ab actione aetheris, aut aerris, mediivae cujuscumq; seu corporei seu incorporei oriatur corpora innatantia in se invicem utcumque impellentis. Eodem sensu generali usurpo vocem impulsus, non species virium et quantitates physicas, sed quantitates et proportiones Mathematicas in hoc tractatu expendens, ut in definitionibus explicui &c. [1713, p. 172-172 ; 1726, p. 188]

[trad., marquise du Châtelet : Je me sers ici du mot d'*attraction* pour exprimer d'une manière générale l'effort que font les corps pour s'approcher les uns des autres, soit que cet effort soit l'effet de l'action des corps, qui se cherchent mutuellement, ou qui s'agitent l'un l'autre par des émanations, soit qu'il soit produit par l'action de l'Ether, de l'air, ou de tel autre milieu qu'on voudra, corporel ou incorporel, qui pousse l'un vers l'autre d'une manière quelconque les corps

qui y nagent. J'emploie le mot d'*impulsion* dans le même sens général, ne recherchant point dans ce Traité l'espèce de ces forces ni leurs qualités physiques, mais leurs quantités et leurs proportions mathématiques, comme je l'ai déjà dit dans les définitions.]

A la fin de son dernier livre on trouve ces paroles.

Hactenus phaenomena caelorum et maris nostri per vim gravitatis exposui, sed causam gravitatis nondum assignavi. Oritur utique haec vis a causâ aliquâ quae penetrat ad usque centra Solis et planetarum, sine ulla virtutis diminutione ... rationem [vero harum] gravitatis proprietatum ex phaenomenis nondum potui deducere, et hypotheses non fingo. Quidquid enim ex phaenomenis non deducitur [f. 37v] hypothesis vocanda est, et hypotheses seu metaphysicae, seu physicae, seu qualitatum occultarum, seu Mechanicae, in philosophiâ experimentalis locum non habent. In hac philosophiâ propositiones deducuntur ex phaenomenis, et redduntur universales per inductionem, sic impenetrabilitas, mobilitas, et impetus corporum, et leges motuum et gravitatis innotuerunt [1713, p. 483-484 ; 1726, p. 530]

[trad., marquise du Châtelet : J'ai expliqué jusqu'ici les phénomènes célestes & ceux de la mer par la force de la gravitation, mais je n'ai assigné nulle part la cause de cette gravitation. Cette force vient de quelque cause qui pénètre jusqu'au centre du Soleil & des planètes, sans rien perdre de son activité [...]. Je n'ai pu encore parvenir à déduire des phénomènes la raison de ces propriétés de la gravité, & je n'imagine point d'hypothèses. Car tout ce qui ne se déduit point des phénomènes est une hypothèse: & les hypothèses, soit métaphysiques, soit physiques, soit mécaniques, soit celles des qualités occultes, ne doivent pas être reçues dans la philosophie expérimentale. Dans cette philosophie, on tire les propositions des phénomènes, & on les rend ensuite générales par induction. C'est ainsi que l'impenétrabilité, la mobilité, la force des corps, les loix du mouvement, & celle de la gravité sont connues.]

Ces passages indiquent la Methode de Newton, elle consiste a ne point admettre d'hypothese, mais a observer simplement la nature et a en examiner scrupuleusement les phenomenes. Il a decouvert par cette voye que les corps tendoient a se reunir, il a calculé les efforts de la force qui la pousse les uns contre les autres afin de parvenir par ce moyen a en connoitre la cause, il avoue que malgré ses recherches il ne la connoit point encore ; y a t il rien en tout cela qui ressemble aux qualités occultes. Pour rendre la chose plus sensible supposons pour un moment qu'on ignore encore les propriétés de l'aiman, et qu'un philosophe nous vienne dire qu'il a decouvert une pierre merveilleuse qui attire le fer, qu'il en a calculé les forces qui sont entr'elles environ en raison triplée inverse des distances, qu'il ne scait point la cause de ces effets surprénans quoiqu'ils soient assurés par un grand nombre d'experiences. Auroit on bonne grace de luy opposer que ce qu'il dit est impossible, parcequ'en parlant d'une force qui attire le fer il ramene les qualités occultes ? ne faudra t'il pas au contraire s'attacher principalement a verifier ses experiences ? il en est de meme de l'attraction de Newton. On ne peut le combattre qu'en examinant les observations sur lesquelles ce grand philosophe appuye sa decouverte, et les raisonnemens qui la confirment. C'est pourquoy je les rapporte dans les articles suivans.

Preuves de l'attraction mutuelle des corps

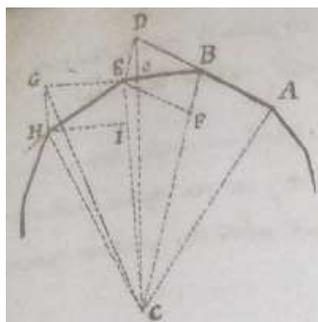
Demande. On peut considerer les courbes comme des polygones d'une infinité de côtés, et leurs tangentes ne sont autre chose que ces petits côtés continués en ligne droite. Ainsi un arc infiniment petit peut etre pris pour une petite ligne droite.

Definition. J'appelle rayon conducteur, radius vector la ligne tirée du centre du mouvement, a l'astre qui se meut dans son Orbite

Proposition premiere

Les lignes AB, BE, EH étant les cotés infiniment petits de l'orbite ABEH, je dis que toutes les fois qu'un corps se meut autour d'un point C, ensorte que les rayons conducteurs (CA, CB, CE, CH) décrivent des aires (ACB, BCE, ECH) proportionnelles aux temps (c'est à dire des aires égales en temps égaux) le mouvement de ce corps dans son orbite peut alors être considéré comme composé de deux mouvements, à sçavoir d'un premier mouvement qui tend à se continuer en ligne droite, et d'un autre mouvement qui tend vers le point C comme vers son centre.

[f. 38r]



Démonstration. Si l'on fait abstraction de la résistance du milieu, le corps qui a employé par exemple une minute pour parcourir la ligne AB tend à continuer son mouvement en ligne droite, et par conséquent à parcourir dans une autre minute la ligne BD, égale à AB, et alors son rayon conducteur décrira par son mouvement les aires ACB, BCD qui seront égales par la 1^e prop. du 6^e livre d'euclide.

Ce corps qui se seroit trouvé en D à la fin de la 2^e minute sil n'avoit eu qu'un seul mouvement continué en ligne droite, est détourné en E ensorte qu'au lieu de parcourir la ligne BD, il parcourt la diagonale BE.

Par la supposition l'aire du triangle BCE se trouve égale à celle du triangle ACB et par conséquent à celle du triangle BCD.

Or le triangle BCE ne peut être égal au triangle BCD que lorsque la ligne DE est parallèle à la ligne BC¹, ce qui formera en tirant EF parallèle à DB un parallélogramme BDEF, dont la ligne BE sera la diagonale.

Puisque tout mouvement sur la diagonale peut être regardé comme composé des mouvements sur les deux cotés du parallélogramme, le mouvement sur la diagonale BE peut être regardé comme composé d'un premier mouvement continué en ligne droite sur BD, et d'un mouvement sur la ligne BF qui tend au centre C, ce qu'il falloit démontrer.

Le corps qui dans la 2^e minute a décrit la ligne BE tend à continuer son mouvement en ligne droite et par conséquent à décrire pendant la 3^e minute EG égale à BE. Il ne sçauroit être détourné en H que par une force qui luy fait parcourir la diagonale EH au lieu de la ligne EG. Par la supposition le triangle ECH est égal au triangle ECG ; donc GH est parallèle à EC ; donc en tirant HI parallèle à EG on aura le parallélogramme EGHI dont la diagonale est EH. Le mouvement sur cette diagonale est composé du mouvement que le mobile avoit pendant la minute précédente continué en ligne droite sur EG, et du mouvement EI qui tend vers le centre C. en repetant la même démonstration à chaque petit coté de l'orbite on prouvera que lorsque les rayons conducteurs décrivent des aires égales en temps égaux, ces petits cotés sont toujours des diagonales d'un parallélogramme qui a la tangente de l'orbite pour un de ses cotés, et pour l'autre une ligne qui va au centre. L'astre qui se meut dans cette orbite aura donc alors un mouvement vers le centre Ce qu'il falloit démontrer.

¹ Car le triangle bcd étant égal à bce, si l'on ôte le triangle bco, et qu'on ajoute à chacun le triangle deo, on aura le triangle bde égal au triangle dce, et qui aura une même base de. Donc par la 39 du 1 liv. d'euclide les lignes de et be seront parallèles.

Je tire deux corollaires de cette proposition

1er corollaire Toutes les fois que la vitesse d'un astre dans son orbite est en raison inverse de la ligne perpendiculaire tirée du centre a la tangente de l'arc que décrit l'astre² il a alors un mouvement qui tend au centre, parceque ses rayons conducteurs décrivent alors des aires egales en temps egaux.

En effet les bases de ces aires sont comme les vitesses de l'astre, leur hauteur est précisément cette ligne tirée du centre a la tangente ; ces aires sont donc comme le produit de la vitesse par cette ligne perpendiculaire. Puisque l'on suppose les vitesses en raison inverse de ces lignes [f. 38v] perpendiculaires tirées du centre a la tangente ces produits seront toujours egaux³ et par consequent ces aires toujours egales ce qu'il falloit demontrer.

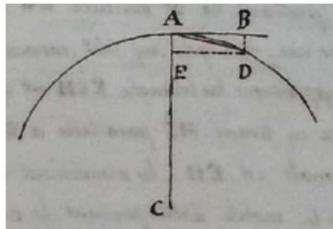
2e Corollaire Toutes les fois qu'un astre décrit un cercle avec une vitesse toujours egale, il a un mouvement vers le centre ; car ses rayons conducteurs qui sont les memes que les rayons du cercle, décrivent alors des secteurs egaux en temps egaux.

Ces verités une fois établies on en conclut que tous les corps celestes ont un mouvement qui tend a un centre. En effet on a observé que leurs vitesses sont en raison inverse de leur distance de ce centre, et par consequent que leurs rayons conducteurs décrivent autour de ce centre des aires proportionnelles aux temps.

Après avoir prouvé l'existence de la force centripete il faut examiner ses différentes proportions selon les différentes distances du centre. Les astres a ce que disent les astronomes parcourent des cercles ou des ellipses, il faut donc calculer cette force dans ces deux courbes. Commençons par le cercle

Proposition seconde

Lorsqu'un corps décrit un cercle, sa force centripete (ou pour parler plus juste, la ligne AE que luy feroit parcourir cette force dans un temps déterminé) est egale au carré du petit arc AD qu'il parcourt dans le meme temps, divisé par le diametre du cercle.



Demonstration. Ce corps tend a s'éloigner du centre en continuant son mouvement en ligne droite et parcourant la tangente AB ; et il en est detourné par la force centripete qui tend vers C, et il décrit le petit arc ou la corde AD. La ligne AD est donc diagonale d'un parallelogramme dont la tangente AB est un des cotés, et la ligne AE l'autre coté.

Pour déterminer la longueur de ces cotés il faut du point D tirer DB parallèle a AC, et DE parallèle a AB. Le mouvement qui fait parcourir la diagonale AD sera composé du mouvement continué en ligne droite sur la tangente AB et de la force centripete AE.

Or cest une propriété du cercle démontrée dans les elemens de Geometrie que la petit corde AD qui selon la demande peut etre prise pour larc infiniment petit AD, est moyenne

² C'est a dire toutes les fois que la vitesse d'un astre est d'autant plus petite qu'il est plus éloigné du centre de son mouvement.

³ Par les prop. 14 ou 15 du 6e livre d'euclide.

proportionnelle entre le diametre du cercle et la fleche AE. Donc la fleche AE est egale au quarré de AD divisé par le diametre. Donc la ligne que feroit parcourir la force centrifuge dans un temps determiné est egale au quarré du petit arc que le corps a parcouru dans le meme temps, divisé par le diametre du cercle.

Ce qu'il falloit demontrer.

Comme la grandeur de larc que ce corps parcourt dans un certain temps depend de la vitesse de son mouvement ces arcs sont toujours proportionels aux vitesses et l'on prend indifferement les uns pour les autres ; c'est pourquoy l'on enonce communement cette proposition en disant que la force centripete d'un corps qui se meut dans un cercle, est egale au quarré de la vitesse de ce corps, divisé par le diametre du cercle

[f. 39r]

Il faut a present examiner les proportions des forces centripetes dans des cercles de differentes grandeurs. La fameuse regle de Kepler nous enseigne que les quarrés des temps des revolutions des corps celestes sont comme les cubes de leurs distances du centre. Voyons quelle sera la proportion des forces centripetes dans ce cas.

Proposition troisieme

Si les quarrés des temps des revolutions des astres sont comme les cubes de leurs distances du centre du cercle qu'ils parcourent, la force qui les pousse vers le centre est en raison inverse des quarrés de leurs distances du centre

Demonstration

Appellons la force centripete x , la vitesse v , le rayon du cercle d .

Nous aurons par la proposition precedente $x = \frac{v^2}{2d}$, puisque la vitesse est egale a l'espace s divisé par le temps t je substitue $\frac{s}{t}$ a v dans lequation precedente qui se transforme en celle cy $x = \frac{s^2}{2dt^2}$, dans laquelle s signifiera l'espace que le corps parcourt pendant sa revolution cest a dire la circonference du cercle, et t le temps de la revolution.⁴

Si je compare les forces de deux corps egaux, mais qui parcourent des cercles differens et que j'exprime en lettres majuscules la force centripete du corps qui parcourt le plus grand cercle ; j'auray cette proportion

$$x : X = \frac{s^2}{2dt^2} : \frac{S^2}{2DT^2}$$

d'ou je tire l'equation $\frac{x}{X} = \frac{s^2DT^2}{S^2dt^2}$. puisque les quarrés des temps des revolutions sont comme les cubes des distances du centre, j'ay la proportion $t^2 : T^2 = d^3 : D^3$ et par consequent $T^2 = \frac{D^3t^2}{d^3}$.

En substituant cette valeur de T^2 dans l'equation precedente elle se transforme en celle cy $\frac{x}{X} = \frac{s^2D^4}{S^2d^4}$

Le rapport de s a d est celui de la circonference du cercle au rayon, il en est de meme du rapport de S a D . Ces deux rapports sont donc egaux donc $\frac{s}{d} = \frac{S}{D}$, et $s = \frac{dS}{D}$, et $s^2 = \frac{d^2S^2}{D^2}$ en substituant

⁴ Parce que le rapport de la circonference du cercle au temps periodique de la revolution, est le meme que celui de chaque petite ligne s , au temps t avec lequel l'astre la parcourt. (ou pour parler plus juste le temps t est au temps periodique de la revolution, ce que le petit arc s est a la circonference du cercle) ; donc la fraction $\frac{s}{t}$ exprime le rapport de la circonf. du cercle au temps periodique de la revolution.

cette valeur de s^2 dans l'équation précédente elle se réduit à celle cy $\frac{x}{X} = \frac{D^2}{a^2}$.
Ce qu'il falloit démontrer.

Proposition quatrième

Les corps qui se meuvent dans une ellipse, et ont un de ses foyers pour centre de leur mouvement, sont poussés vers le centre par une force qui est en raison inverse des carrés des distances de ce centre.⁶

Mr Le moivre fameux géometre de la société royale de Londres a trouvé une proposition générale pour la proportion des forces centrales dans toutes sortes de courbes. Elles sont toujours entr'elles en raison composée de trois autres raisons, à sçavoir de la raison directe des rayons conducteurs, de la raison triplée inverse des distances du centre à l'arc décrit, et de la raison inverse des rayons d'osculation.

[f. 39v]

En appliquant cette formule générale aux ellipses on trouve que les forces centripètes y sont en raison inverse des carrés des distances du foyer qui est le centre du mouvement. On en peut voir la démonstration dans la Mécanique de Wolf.⁷ Au traité des forces centrales sans qu'il soit nécessaire de la transcrire icy

Après avoir prouvé l'existence et les différentes proportions de la force centripète examinons si la force centripète des astres est la même chose que la pesanteur des corps graves, il faut pour cela comparer la force centripète de la lune avec la pesanteur.

Proposition cinquième

La force qui retient la lune dans son orbite est la même que celle qui fait tomber les corps graves sur la terre.

Démonstration. On connoit le rayon de l'orbite de la lune qui est d'environ 60 demi diamètres de la terre, et par conséquent on connoit la circonférence du cercle que parcourt cette planète en 27 jours, 7 heures 43'. On sçait donc la grandeur de l'arc que la lune parcourt dans une minute. En le carré et en divisant ce carré par le diamètre de l'orbite on aura par la 2^e proposition la force centripète de la lune qui selon le calcul fait par Newton luy feroit parcourir 15 1/12 pieds par minute.

On trouvera par la 3^e prop. la force centripète qu'auroit la lune si elle étoit sur la surface de la terre, en disant ce que le carré du demi diamètre de la terre est au carré du rayon de l'orbite de la lune, la force centripète de la lune l'est à la force x dont je cherche la valeur. $1 : 60 \times 60 = 15 \frac{1}{2}$ pieds par minute : x donc $x = 60 \times 60 \times 15 \frac{1}{12}$ pieds par minute⁸.

Cette force feroit donc parcourir 3600 fois 15 1/12 pieds par minute et par conséquent 15 1/12 pieds par seconde parce que les espaces sont comme les carrés des temps.⁹ 15 1/12 pieds par seconde font justement l'espace que parcourent les corps graves en tombant ; donc si la lune étoit à la surface de la terre sa force centripète la pousseroit comme la pesanteur pousse les corps graves ; donc la force centripète est la même chose que la pesanteur ; et pour changer une pierre en planète, il ne faudroit (la résistance du milieu à part) que luy imprimer un mouvement en ligne

⁵ C'est à dire $x : X = D^2 : d^2$.

⁶ On voit par là que la force centripète des astres est toujours en raison inverse des carrés de leurs distances du centre de leur mouvement, soit qu'ils décrivent des cercles soit qu'ils décrivent des ellipses [en marge, sans que cela se rapporte à un mot précis].

⁷ Elementa matheseos universae. vol. 2.

⁸ $60 \times 60 = 3600$ [en marge, sans que cela se rapporte à un mot précis].

⁹ Puisque une seconde est la 60^e partie d'une minute, un corps ne doit parcourir en tombant pendant une seconde, que la 3600^e partie de l'espace qu'il parcourroit pendant une minute.

droite assés grand pour contrebalancer sa pesanteur, de la meme maniere que nous avons vû que dans les astres le mouvement qui tend a decrire la tangente de l'orbite produit une force centrifuge qui est en equilibre contre la force centripete.

Proposition sixieme

La force centripete est en meme raison que la matiere dans les corps.

C'est une experience connuë que lorsqu'il n'y a point de resistance de milieu, comme dans la machine pneumatique, tous les corps de quelque matiere qu'ils soient, tombent avec la meme vitesse ; donc la force qui les pousse est en [f. 40r] meme raison que ce qui est mù : or qu'est ce qui est mù dans les corps graves ? qu'est ce qui est poussé si ce n'est la matiere qui est dans chaque corps ? la pesanteur qui par la proposition precedente n'est autre chose que la force centripete est donc en raison directe de la quantité de matiere qui est dans chaque corps.

-
J'ay prouvé que tous les astres ont un mouvement vers un centre que la force qui les y pousse est en raison inverse des quarrés de leurs distances de ce centre, et que cette force est la meme chose que la pesanteur ; il faut donc en conclurre que les planetes pesent vers l'astre qui est au centre de leur mouvement, cest a dire que la lune pese vers la terre, que les satellites de jupiter et ceux de saturne pesent vers ces deux planetes, et que la terre et les autres planetes pesent toutes vers le soleil qui est au centre de leur mouvement. Il n'y a plus qu'un pas a faire pour conclurre aussi que tous les corps tendent a se reunir les uns aux autres, et qu'ils sont poussés les uns vers les autres par une force appelée indifferemment pesanteur, gravité, ou attraction. Je tacheray d'exposer dans les memoires suivans les preuves de cette proposition.

-
Fin du 1er memoire

Annexe III

Cette annexe correspond à l'adaptation critique de la préface de l'ouvrage de Henry Pemberton, *A View of Sir Isaac Newton's Philosophy* (1728) par le père Tolomas. Ce texte est analysé dans le chapitre VII de ce livre et nous y renvoyons le lecteur.

Manuscrit

Ms 200, f. 42-47

[f. 42r]

N° 557

Sur le Newtonianisme de Pemberton

-

Lû à l'Académie des Beaux Arts
Le 28e Juin 1747
Par le P. Tolomas d.l.C.d.J. [de la Compagnie de Jésus]

-

[f. 43r]

N° 557

Sur le Newtonianisme de Pemberton

-

Messieurs

Le hazard fit tomber, il y a quelque tems, entre mes mains l'ouvrage anglois de Pemberton sur la philosophie Newtonienne. Je me rappelai d'avoir lû dans le livre de Mr. de Voltaire sur le même sujet cette modeste déclaration : Ceux qui voudront s'instruire d'avantage liront les excellentes physiques des s'gravesandes, des Keils, des Mushenbroeks, des Pembertons & s'approcheront de Newton par degrés.

Le livre de Pemberton est ici proposé par un connoisseur comme ce qu'on peut lire de mieux pour se préparer à la lecture du célèbre philosophe anglois. La réputation de Mr. de Voltaire mise à part, son témoignage est appuyé par le préjugé le plus favorable. Les autres commentateurs de Newton ont étudié ce grand homme dans ses livres ; Newton a donné de sa propre bouche le commentaire de ses livres à Pemberton. Celui ci a crû devoir au public le fruit des complaisances de son Maître; & pour lui faire des partisans, il en a éclairci la doctrine; & j'entens dire que, de l'aveu des Newtoniens qui ont le plus de sagacité, leur maître avoit besoin qu'une main habile lui prêtât ce secours.

C'est ce que notre auteur a executé dans l'ouvrage anglois dont je parle sous le titre de Plan ou d'exposition de la philosophie de Newton (*A view of sir Isaac Newton's philosophy*¹.) et une remarque bien propre à prévenir fort avantageusement en faveur de ce commentaire, c'est qu'encore manuscrit on le lût à Newton, & on profita de ses avis pour le rectifier. On n'ignoroit point ce fait en angleterre ; aussi l'ouvrage, dez qu'il y fut annoncé, excita l'attention & les empressemens du public: et quoiqu'il ait plû à un de nos écrivains² des plus modernes de décrier les [f. 43v] souscriptions angloises, on ne disconviendra pas que plus de deux mille souscripteurs³ qui paient un livre au moment meme qu'on en annonce l'impression ne donnent une fort bonne idée de l'auteur. C'est ce qui arriva à pemberton. Son livre y gagna ; les libraires

¹ London. 1728.

² L'Abbé le Blanc [.] Lettres sur les Anglois.

³ Selon l'usage de l'angleterre, leurs Noms sont à la fin du livre, & peut etre y en a-t-il encore plus que je ne dis ici.

qu'encourageoient les assurances d'un succes immanquable ne négligèrent rien pour relever le prix de cèt important ouvrage par toutes les richesses & toute l'élégance de leur art.

Sur la fausse prévention où j'étois, ainsi que bien d'autres personnes, qu'il n'est point de bon livre anglois, qui ne soit aussitôt traduit en notre langue, je me persuadai que nous avions sans doute, depuis plusieurs années, une traduction françoise de l'ouvrage dont il s'agit. J'ai pris des informations, dont il me seroit facile de justifier l'exactitude & j'ai reconnu que Pemberton avoit échapé à la diligence de nos traducteurs. Peut etre la longueur de l'ouvrage a-t-elle refroidi leur zèle. Car il n'étoit pas possible de réduire à peu de pages un livre destiné a introduire les Apedeutes eux memes dans le sanctuaire des plus sublimes idées du célèbre & difficile Newton. D'ailleurs il est assez vrai-semblable que les Mathématiciens de profession auront regardé le penible travail d'une traduction de cette espèce comme au dessous d'eux; & sans doute elle etoit au dessus de ceux qui n'y auroient apporté que l'intelligence des deux langues. C'est précisément le cas où je me trouvois; mais je suis à portée de recevoir des secours qui suppleent au défaut de mes connoissances ; et si l'étude sérieuse que j'ai fait de la langue angloise a du me promettre que je saisirois la lettre de mon auteur, de bons avis que je solliciterai avec soin ne me permettront pas d'en manquer l'esprit. Sur cette espérance j'ai osé m'embarquer dans cette entreprise; et il m'a parû que les prémices d'un travail de cette nature etoient dignes d'être présentées à cette compagnie, qui compte parmi ses membres de judicieux appréciateurs de Newton, infiniment propres à accréditer le philosophe anglois, puisqu'ils lui ont voüé leur estime, qu'après l'avoir bien médité & bien approfondi, chose, qui n'est pas fort commune, s'il faut en croire le p. Castel, parmi ceux là mêmes, qui se donnent pour Newtoniens.

[f. 44r]

La préface du livre en question remplit sagement son objet. L'Auteur y expose avec beaucoup de netteté les motifs qui lui ont mis la plume à la main. Apres quoi, comme toutes les personnalités, qui intéressent les grands hommes sont toujours agréables à un lecteur curieux, quels que soient les dégouts qu'affectent à ce sujet les trop graves contempteurs de tout ce qui porte les livrées de l'erudition, Pemberton raporte quelques traits qui caractérisent Newton, & qui le caractérisent comme philosophe.

J'avois eu d'abord la pensée de traduire cette préface avec le même soin que je me propose de donner à la traduction de l'ouvrage en entier : mais j'ai été, je vous l'avoüe, rebuté dez les premieres lignes. Notre savant Mathematicien n'a pas dédaigné d'ouvrir sa préface par ces trivialités préliminaires qui ont si souvent servi de début aux plus minces litterateurs. Il est d'abord ici question d'amis intelligens qui ont prié pressé l'auteur, il ne manquoit plus que de dire qu'ils lui avoient fait violence pour l'engager à publier ce qu'il n'avoit fait que pour son usage. on dit partout des riens ; & les anglois ces hommes si neufs, si extraordinaires dans leurs réflexions se rabatent ainsi quelquefois sur les idées les plus communes. Quoiqu'il en soit je me bornerai à saisir l'esprit du contenu dans toute la préface de notre Auteur, & j'oublierai pour aujourd'hui que j'avois resolu de ne faire qu'une traduction.

Des motifs bien louïables ont excité le zèle de Pemberton. « Je veux, dit-il, donner quelque idée d'un homme qui s'est acquis une réputation illimitée, & dont les spéculations ont rendu sa patrie si celebre dans le monde savant. J'écris en faveur des personnes qui sont absolument étrangères dans les mathematiques. Aussi ai-je emploïé le plus rarement qu'il m'a été possible les termes propres à ces siences ; Dans le besoin je n'en ai fait usage qu'après en avoir donné une exacte définition » Voilà d'agreables promesses pour un bon nombre de lecteurs : mais ce sont des promesses de préface. C'est sur ce pied que Pemberton nous les a faites : il faut s'y attendre, si l'on ne veut etre trompé. il nous fait grace à la verité de l'appareil des méthodes algébriques ; mais la geométrie et mille figures assez compliquées entrent pour beaucoup dans tout le cours de son ouvrage. Je serois porté à croire qu'il lui etoit impossible d'en user autrement, si Mr. Algarotti n'avoit pas réussi en effet à se passer de lignes & de problèmes dans son Newtonianisme : mais aussi l'Anglois est il bien plus profond que l'italien, & il est [f. 44v] juste qu'un livre plus instructif soit aussi plus difficile. Il est de l'équité d'ajouter encore à cette réflexion que la bonne physique

ne sauroit se passer d'un peu de géométrie. Musschenbroek exigeoit de ses disciples qu'ils eussent du moins parcouru les Elemens d'Euclide. Et comment en effet, remarque cet auteur, pourroit on se passer de ce secours, Lorsqu'il s'agit de traiter des matieres qui regardent la mecanique, ou de supputer les forces des corps qui sont en mouvement, ou celles des corps qui tournent autour d'un point, ou bien lorsqu'il est question de déterminer le chemin, que parcourent les corps pesans dans leur chute, ou celui que décrit le pendule d'une horloge ? J'ose avancer, continuë le savant Hollandois, que cela est absolument impossible. La dérision est d'un Maitre de l'art; & quoi qu'en puisse souffrir l'amour propre de quiconque n'est pas géomètre, il est bien force de souscrire à cet eloge de la geométrie, à moins qu'on ne voulut donner dans la politesse de ceux pour qui rien n'est estimable & ne mérite quelque attention que les siences à quoi ils se sont livrés. Je reviens à la préface de mon auteur.

« On s'attend peut etre, dit-il, à trouver ici quelque particularité sur la vie d'un Homme à qui je fais profession de devoir infiniment: Je serai fort court sur cet article. Je n'ai connu Newton que dans les dernieres années de sa vie. Un petit escrit de ma façon contre la prétenduë demonstration du Marquis Poleni en faveur des forces vives de Leibnitz me prouva la connoissance de ce grand Homme. La liaison fut bientôt intime: Je la cultivai par mes assiduités & dans les fréquentes conversations que nous eumes je tachai d'apprendre de lui ce qu'il pensoit des mathematiques, du fil qu'on devoit suivre dans ces sortes d'études, et au meme tems tous les détails historiques qui pouvoient avoir du raport aux ingenieuses découvertes qu'il avoit faites. Je ne tardai pas à reconnoitre qu'il avoit fort peu lû; beaucoup moins en verité qu'on ne pourroit se le persuader. Mais le génie et les méditations suppleoient aux lectures. » On pourroit en effet se hasarder à dire que les lectures sont les etudes des paresseux. Parcourir les idées des autres, c'est un amusement; Approfondir les siennes propres, les comparer, les éclaircir, c'est le véritable travail de l'esprit mais aussi est-ce là peut être le seul travail, qui soit vraiment [f. 45r] utile. Un lecteur eternel donne en garde à sa memoire ; pour me servir des expressions de montagne [Montaigne], tout ce qu'ont pensé les autres, et il se borne là.

Au reste c'est surtout les modernes mathématiciens que Newton se soucioit fort peu de lire ; & l'on n'en sera pas beaucoup surpris, quand on saura qu'il ne goutoit aucunement leur maniere de traiter les mathématiques. Selon lui c'étoit gater la géométrie que d'y mêler des calculs algébriques. Il vouloit réduire tous les mystères de l'algèbre à la simplicité d'une arithmétique universelle : c'est le titre d'un de ses ouvrages, où il se prouve qu'il suffit à un bon géomètre d'être un bon arithméticien.

Le sentiment extraordinaire qu'on prête ici à l'inventeur des fluxions veut sans doute etre accompagné de quelques remarques, et je ne me dispenserai pas d'en faire quelques unes de nature à montrer que, si je n'apporte pas à la traduction de Pemberton toutes les lumieres qui font les excellens traducteurs, j'ai sù me garantir au moins de cette admiration aveugle, qui souscrit sans délibérer à tout ce qu'avance un auteur qu'on traduit. Mais pour ne pas en faire à deux fois, il faut encore entendre notre commentateur anglois, sur ce qu'il nous donne pour les vrais sentimens de Newton. Et certainement les sentimens d'un si grand Homme valent bien la peine d'être discutés. Qui peut mieux nous tracer les routes des siences, que celui qui en a reculé les barrières ? et ne faudra-t-il pas convenir que Pemberton ne pouvoit mieux mériter de ses lecteurs qu'en les instruisant à ce sujet des vuës de son Maitre⁴. Tel etoit l'objet principal de la preface dont j'ai l'honneur de vous entretenir ; Mais l'auteur y prétend de plus faire l'eloge de Newton. Malheureusement il a fait comme les mauvais panegyristes qui ne croient pouvoir bien etablir le crédit de leurs Heros, qu'au dépens de la réputation de quelque autre Heros non moins célèbre. Ainsi à l'occasion de l'Arithmetique universelle, que je viens de citer, notre zèle newtonien a crû qu'il seroit bien de dire en passant une injure assez grossiere à notre Descartes ; qui est ici traité d'homme sans jugement, pour avoir donné le titre de Geometrie à l'ouvrage immortel qu'il a composé sur la geometrie. Comment le falloit-il intituler ? un lecteur qui ne se sent point assez habile pour juger entre Newton & Descartes par le fonds même de leur doctrine,

⁴ [Il y a ici un appel de note dans le manuscrit, mais la note n'y est pas.]

quand il voit comment leur cause [f. 45v] est défenduë par leurs partisans respectifs, peut être tenté d'en adjuger le gain au philosophe françois. Car j'ai remarqué en plus d'un endroit que dans le cours de ce démêlé scientifique, nos cartésiens les plus zélés traittent toujours Newton avec respect ; et trop souvent les Newtoniens prodiguent les injures à Descartes. Réduire des adversaires ingénieux à faire usage de pareilles armes, c'est avoir assez bien prouvé la bonté de sa cause.

Pour revenir à Newton, il prisoit singulièrement les ouvrages de Slusius, de Barrow & d'Huyghens, parce que ces Auteurs s'étoient défendus de ce mauvais gout pour l'algebre, lequel de leur tems commençoit à devenir assez commun. Il donnoit aussi bien des eloges aux efforts qu'avoit fait Hugues d'omerique pour faire revivre l'ancienne analyse, dont on ne trouve nulle autre part une idée plus claire & des notions plus précises que dans le livre d'Apollonius de Sectione Rationis : et par cette raison ce fut l'ouvrage que Newton estima le plus, du moins pour le fonds des choses ; mais quant à la maniere de les présenter, & de rendre ses idées, rien n'étoit plus à son goût que le celebre Huyghens. Il le regardoit comme le plus elegant mathematicien qui eut parû dans ces derniers siecles, & comme le plus fidèle imitateur de l'antiquité. Car il est à observer que Newton se donnoit pour admirateur décidé des anciens. Même quant à la maniere dont ils traittoient les mathematiques, & le tour qu'ils donnoient aux démonstrations de cette espèce. Je l'ai souvent ouï, dit Pemberton, se condamner lui-même, pour s'être ecarté de leur méthode, il se reprochoit, il regrettoit le tems qu'il avoit donné dans sa jeunesse à la lecture de Descartes, & des ecrivains qui l'ont imité, au lieu de s'appliquer à etudier les elemens d'Euclide avec l'attention que demande un ouvrage si excellent.

Mais s'il est vrai, comme je l'ai ouï dire fort souvent, que tout de meme que Racine aprit dans les ouvrages de Corneille à lui disputer le sceptre de la Tragédie, Newton avoit trouvé dans les découvertes de Descartes le germe de celles qu'il a fait lui-même : Si l'on s'est crû autorisé à soutenir que sans Descartes Newton n'auroit peut être sù que bégaiër⁵, Que signifient les regrets que l'on prête ici au philosophe de l'angleterre ? Il me paroît qu'on n'en doit conclurre que ce que j'ai observé ci-devant, savoir que Pemberton est un mauvais panégyriste [f. 46r] il s'est persuadé que pour dresser à Newton un trophée digne d'un si grand homme, il falloit que cèt illustre monument portât sur les debris de la reputation du philosophe françois : il a pensé qu'il ne devoit rien oublier pour détruire l'opinion qui faisoit regarder Descartes, comme le Maître de Newton ; & dans ce système assez mal entendu, le chef d'œuvre de Descartes, & l'heureuse application qu'il avoit fait de l'algebre aux démonstrations géométriques, ne pouvoient être absolument épargnés. Cependant pour donner une couleur, pour prêter des motifs au mépris que l'on affecte ici pour une méthode, qui a facilité les plus heureuses découvertes, on s'appuie d'un prétendu sentiment de Newton lui-meme. Mais à qui persuadera-t-on qu'une méthode dont Newton a fait si constamment usage, qu'il à lui-meme portée à sa perfection, dont & Lui & on peut dire en general tous les mathématiciens ont tiré des avantages si considerables, ait été l'objet des mepris d'un philosophe si judicieux ?⁶ Qu'il est bien plus naturel de s'en rapporter au récit de l'illustre Mr. de fontenelle⁷, & de penser que si Newton n'étudia point Euclide ; c'est qu'il lui parut trop clair, trop simple, trop indigne de lui prendre du tems. il le savoit avant que de l'avoir lû, ajoute l'elegant & fidele Historien de l'academie ; un simple coup d'œil sur l'enoncé des Theorèmes les lui démontroit. il sauta donc tout d'un coup à des livres tels que les optiques de Kepler, et la géométrie de Descartes. Le fruit qu'il recueillit de pareilles etudes pût lui donner lieu à des regrets ? On pourroit dire que Newton comprit les difficultés de la route qu'il s'étoit ouverte. Un homme frivole en eut fait vanité ; et des esprits ordinaires auroient eu la présomption de l'y vouloir suivre : Pour les en détourner le modeste Philosophe a bien voulu se blamer d'avoir osé faire, ce que d'autres que lui ne feroient point avec succes. C'est là fort vraisemblablement tout ce

⁵ Préface de Mr. de Castera dans sa traduction du Newtonianisme d'Algarotti. [l'emplacement de l'appel de note n'est pas clair dans le manuscrit.]

⁶ [Il y a ici un appel de note dans le manuscrit, mais la note n'y est pas.]

⁷ dans l'eloge de Newton.

que se proposoit ce grand Homme, par les eloges qu'il donnoit à la méthode des anciens, aux Livres d'Euclide, & à constant usage de la pure geometrie. Celle ci de quelque sublimité qu'elle soit susceptible, rend sa marche & ses progres plus sensibles : ses démonstrations sont plus lumineuses et par conséquent beaucoup plus à la portée de tous ceux qui n'ont pas le privilège de lier avec rapidité les principes avec leurs conséquen[f. 46v]ces ici les plus éloignées. Du reste l'utilité, la nécessité même de l'Algebre, sont choses si bien constatées, que je ne me hazarderois point à en déduire les preuves, fussé-je même en etat de les mettre dans leur plus beau jour. Je vois à la vérité de grands physiciens, qu'on n'accusera pas assurément d'ignorer les mathématiques, se plaindre que quelques uns se plaisent à prodiguer à tous propos, ou pour mieux dire, hors de propos, l'algebre & les calculs. Si l'abus est réel, ce que malheureusement pour moi, je fais profession de n'être pas en etat de décider, Rien n'est mieux que de lui opposer une barriere, mais l'abus le plus vicieux que l'on feroit d'une chose excellente ne lui ote rien de son prix. Et ce qui prouve bien que Newton n'en vouloit qu'à l'excez où l'on peut se jeter en suivant la méthode des modernes mathématiciens, c'est que les mathematiciens modernes qui etoient le plus de son goût ont eux-memes suivi cette ingénieuse méthode. Car pour ne pas parler des autres, Barrow l'inventeur du petit Triangle différentiel n'etoit-il donc qu'un géomètre rigoriste. Je n'ai vû qu'un seul ouvrage de ce celebre ecrivain: ce sont les elemens d'Euclide. Il y fait marcher l'algebre & la géometrie presque d'un pas egal; & c'est sans doute un agrément pour le lecteur d'être conduit à la verité, par deux voies également infaillibles. Concluons ; Newton n'a pû désapprouver les methodes nouvelles ; et Pemberton pousse trop loin l'eloge des anciennes, dans la préface dont je rends compte.

Il est encore question dans cette préface du detail des reflexions, qui amenerent le système de l'attraction angloise. Ce detail est déjà connu, dit pemberton. Il l'etoit en effet en angleterre quand notre auteur en parloit ainsi. Depuis ce tems on en a été instruit en france par la publication de certaines Lettres soi-disant philosophiques, dont un Francois célèbre s'est justement offensé qu'on l'ait crû l'Auteur, & qu'il a fort sagem[en]t desavoüées. Cét Epistolaire quelqu'il soit n'a pas jugé à propos d'avertir que ce qu'il raporte dans la 15e Lettre au sujet de l'Attraction, & des raisonnemens qui conduisirent Newton à ce principe de physique, est en partie assez exactement traduit de la préface de Pemberton. Mais puisque cette traduction est entre les mains de tout le monde, il est inutile d'en répéter le contenu.

Ce seroit de même en pure perte que je tracerois d'apres mon auteur, le portrait de Newton, et le caractère de cette grande ame. On sait que les anglois ne reussissent pas en peinture.

Heureusement la [f. 47r] France a fourni une main digne de traiter un si beau sujet, et quand on a lû l'eloge de Newton⁸, on reconnoit avec plaisir que cèt Alexandre a trouvé son Apelle.

Au reste Pemberton ne donne pas de son Héros une idée moins avantageuse que l'a fait Mr. de fontenelle. Les deux elogistes s'accordent surtout dans le témoignage qu'ils rendent l'un & l'autre à la modestie de Newton ; Elle alloit jusqu'à l'indifference et meme a l'insensibilité pour la réputation de son esprit, de ses talens & de ses découvertes. C'est la partie de sa gloire qu'on devoit sans doute le plus envier : ce sera fort vraisemblablement celle qu'on envîra le moins. mais si ce philosophe en meritant les plus beaux eloges, se borna modestement à les mériter, on sait avec quelle vivacité sa nation entiere lui en païé le juste tribut : et combien de francois ont disputé de zèle avec les compatriotes de ce grand Homme, pour en exalter le mérite ! Ce n'est pas apparemment à ce sujet que l'immortel Rousseau s'elevoit avec une noble hardiesse contre cet esprit anglois, disoit-il, qui gagne insensiblement toute la France.

On a prétendu que vers les dernieres années de sa vie Newton oublia toute sa sience. Et voici comment Pemberton a voulu détruire une imputation, qui supposée conforme à la vérité, prouveroit la foiblesse de l'humanité, et n'oteroit rien sans doute au grand homme.

La memoire de Newton s'etoit considerablement affoiblie, dit notre auteur. On en a pris occasion de soutenir & de publier qu'il en vint jusqu'à oublier ses propres découvertes. Il est vrai que lors même qu'on avoit tout lieu d'attendre de lui quelque explication de ses divers systèmes, il etoit

⁸ Dans le Recueil des ouvrages de l'academie des sciences.

fort souvent hors d'état d'en dire sa pensée. Mais il faut observer, dit Pemberton que les génies extraordinaires sont fort sujet aux distractions (ou pour traduire plus fidèlement) ils ont de fréquentes absences, non seulement par rapport aux devoirs de la Société, mais encore au sujet des sciences mêmes, où ils sont le plus profondément versés. mais voici dans le style de Pemberton leur justification complète. Ses inventeurs, dit notre Anglois, enfoncent leurs découvertes dans le plus intime de leur âme, dans l'occasion de s'en expliquer, il leur faut du tems pour fouiller dans ce profond abîme, et ils ne sont toujours également disposés à faire de si pénibles perquisitions. cette réflexion est assez propre à donner idée du goût de Pemberton, quand il veut faire le personnage d'un orateur Apologiste. Mais quelque jugement que l'on puisse porter de ses talens en ce genre, la gloire de l'éloquence n'est pas pour mériter les regrets d'un bon mathématicien. Pemberton est il digne en effet de ce dernier titre. Il paroît lui être garanti par l'estime que lui a concilié son Newtonianisme. Si vous l'agréez, Mrs, j'aurai l'honneur de vous en présenter de tems en tems quelques morceaux, et ce sera sur votre estime que je réglerai la mienne pour cet auteur. -

Tolomas jés.

-

Annexe IV

Présentation

En 1752 paraît anonymement l'ouvrage *Théorie des tourbillons cartésiens ; avec des réflexions sur l'attraction* dont l'auteur s'avère être Bernard le Bovier de Fontenelle. Fontenelle expose et défend les tourbillons de matière emportant les planètes, et il rejette l'attraction newtonienne. Le père Laurent Béraud critique ce texte dans des *Reflexions sur le Livre Théorie des Tourbillons* (autographe, Ms 207, f. 208-217) lues le 5 juillet 1752 à l'ABA et publiées sous ce titre dans le *Mercur de France* de février 1753, p. 23-60. Fontenelle mérite « nos respects à tous égards », écrit Béraud, « mais l'on peut sans y manquer, repousser ce dernier coup qu'il porte à Newton ». Le document reproduit en Annexe est un extrait du mémoire de Béraud lu en assemblée publique le 7 décembre 1752 à l'ABA par Christin.

L'objection 1° affirme que le mécanisme proposé par Fontenelle, à savoir que pour une couche donnée du tourbillon, le fluide circule dans le même sens selon des cercles concentriques de même rayon, implique des chocs des corpuscules lorsque les cercles qu'ils décrivent se croisent et ceci conduisant à une perte de mouvement (*Reflexions*, p. 41-45).

La 2° souligne que le mouvement de tourbillon d'un fluide ne peut provenir que de la rotation de l'astre qui en occupe le centre. Or, la circulation du fluide imaginée par Fontenelle est contraire à ce que devrait imprimer cet astre, impression qui ne peut être que suivant les tangentes à ses parallèles (*Reflexions*, p. 26-27).

La 3° porte sur les frottements de couches du système, estimés « sensibles » par Béraud (*Reflexions*, p. 28-29).

La 4° est celle que Fontenelle soulève à la lecture du livre de Villemot et à laquelle il s'efforce de répondre lui-même (voir le Chapitre II du notre livre). Rappelons que la solution apportée à cette difficulté consiste à supposer que l'équilibre de couches du fluide constituant les tourbillons se quantifie non pas par une égalité des forces centrifuges de parties du fluide qui composent ces couches mais par l'égalité du produit des surfaces de ces couches par leur force (voir Chapitre II). Cette solution est notamment utilisée par Villemot, Malebranche, Privat de Molières, le père Grégoire pour lesquels l'équilibre du système est essentiel. Malgré cela, Béraud récuse l'existence d'un tel équilibre entre couches (*Reflexions*, p. 30-32).

La 5° correspond à une difficulté à laquelle des auteurs comme Villemot, La Hire, Mairan, Molières sont confrontés (voir Chapitre II), Béraud ne retenant pas la solution proposée par Fontenelle (*Reflexions*, p. 34-37).

La 6° et la 7° concernent les trajectoires des planètes. Béraud récuse la parfaite circularité des couches de tourbillons supposée dans un premier temps par Fontenelle (*Reflexions*, p. 37-39). Ensuite, Fontenelle propose un mécanisme qui devrait expliquer que, finalement, par un jeu de pressions exercées sur le tourbillon solaire, ce dernier prend une forme d'ellipsoïde et le Soleil se déplace alors du centre vers un foyer. Dans la 7°, Béraud souligne qu'avec le mécanisme de Fontenelle le Soleil se mouvrait suivant le petit axe et non le grand axe d'une ellipse et n'occuperait ainsi jamais un foyer (*Reflexions*, p. 40). Dans la 7°, Béraud oppose à la régularité des phénomènes astronomiques une diversité de causes (des pressions de fluides) incertaines et irrégulières (*Reflexions*, p. 41-45).

La 8° apparaît déjà chez Newton (*Principes*, t. II, p. 174-175).

Enfin, 9° et 10° relèvent plus spécifiquement de réponses aux critiques fontenelliennes de l'attraction de Newton. Pour Béraud, l'attraction, « c'est l'action de Dieu » sur les corps. Il est tout autant possible à Dieu de faire mouvoir ces corps par l'action d'un fluide que par une loi de force à distance ; dans les deux cas, seule « l'action de Dieu prise en elle-même [...] échappe à notre connoissance », l'attraction ou l'impulsion nous sont également obscures, et on ne peut donc pas rejeter l'attraction, comme le fait Fontenelle, en affirmant son caractère inintelligible (*Reflexions*, p. 52-56). Par ailleurs, pour Béraud, le mouvement d'une planète ne peut que s'expliquer par l'association de deux forces, celle d'attraction qui approche la planète vers le soleil et l'y ferait tomber sans celle qui la « contrebalance », à savoir la force centrifuge ; pour les « Cartésiens » seule cette dernière force existe (*Reflexions*, p. 57-58). Enfin, Béraud affirme que le « vuide [de Newton] choque bien moins la raison, que le plein de Descartes » qui doit avoir « une résistance très-grande » puisque constitué de corps durs animés de grandes vitesses. Mais Béraud précise aussi que Newton ne considère pas l'espace vide et qu'il recourt à un éther qui ne résiste pas (*Reflexions*, p. 58-60 ; l'examen que Béraud donne de l'éther de Newton dans ses *Reflexions* est identique à celui rapporté dans le Chapitre VI de notre livre).

La critique de Béraud des explications du mouvement des comètes dans le système des tourbillons de Fontenelle se termine par la dénonciation de la « vieille idée de Descartes » et par ce jugement : « en voilà assez pour assurer à l'Astronomie moderne la gloire d'avoir découvert la vraie théorie des Comètes, & par là d'avoir dissipé toute la matière tourbillonnante des Cartésiens » (*Reflexions*, p. 49 et p. 51 ; pour un aperçu de théories tourbillonnaires sur les comètes et des critiques de Newton, voir Chapitre II de notre Livre). Pour Béraud, les calculs de retour de comètes fait sous l'hypothèse cartésienne sont moins précis que ceux résultant des principes de Newton (Béraud, *Comparaison des Théories des Comètes appliquées à la comète de 1744*, Ms 205, f. 43-51, lue à l'ABA le 18 août 1745) ; de même qu'il dénonce la difficulté de rendre compte des irrégularités des mouvements de la Lune dans l'hypothèse des tourbillons et se réfère alors à la théorie de Newton (Béraud, *Dissertation Physico-Astronomique Sur les Irrégularités de Lune*, Ms 207, f. 87-103, lecture à l'ABA le 29 septembre 1741 et le 14 février 1742).

Tous ces éléments montrent que Béraud récuse les tourbillons de Descartes et, plus généralement, s'oppose à l'idée que des tourbillons (ceux de Descartes ou d'autres savants) emportent les planètes, qu'il admet la loi de

gravitation comme une loi divine, qu'il se montre admiratif de l'« Astronomie moderne » dans ses *Réflexions*, en l'occurrence celle développée depuis Newton et grâce à ce savant, et qu'il considère l'espace rempli d'une matière non résistante.

Manuscrit

**Discours à l'ouverture de L'assemblée publique
de la Société Royale du Jeudi 7e Xbre 1752.
par Mr. Christin Directeur**

Ms 267-II, f. 175-184 [copiste]

Extrait

[f. 178v]

Reflexions sur la Theorie des tourbillons de M. De fontenelle. Par le P. Beraud

L'auteur de ces reflexions remarque 1°. que dans L'hypothèse du mouvement de circulation fluide [f. 179r] tel que l'explique la theorie des tourbillons, tous les points d'une même couche circulans dans de grands cercles doivent necessairement se croiser dans un point, s'entrechoquer, et consequemment perdre leur mouvement.

2°. que la matiere qui forme le tourbillon solaire etant comme l'atmosphère du soleil ne peut avoir d'autre mouvement que celui que lui imprime cet astre, or le soleil n'a d'autre mouvement que celui de rotation ou de circulation solide.

3°. que dans la supposition de la circulation fluide il doit arriver entre les differentes couches du tourbillon des frottemens continüels parceque leurs tresses [sic = vitesses] sont inegales etans entr'elles en raison inverse des racines quarrées des rayons.

4°. que le Tourbillon devroit même se dissiper parceque chaque point d'une couche inferieure à toujours plus de force centrifuge que le point correspondant de la couche immediatement superieure ces forces etans en raison reciproque des quarrés des rayons.

5°. que de la manière dont on explique le mouvement de rotation des planetes, il paroît que ce mouvement dans la partie inferieure de la Planete est opposé à son mouvement de circulation.

6°. que toutes les demonstrations de l'auteur de [f. 179v] la theorie etans fondées sur la parfaite sphericité des tourbillons et des orbites des planetes et cette hypothese etant fausse, il s'ensuit que toutes ses demonstrations se réduisent à rien.

7°. que selon l'explication qu'on donne de l'Ellipticité des orbites des planetes, le soleil ne devroit pas se trouver au foyer de ces orbites et que d'ailleurs on assigne ici à des effets constans et reguliers des causes très inconstantes et très irregulieres.

8°. que les cometes allant souvent dans la direction contraire à celle du tourbillon planetaire ce seul fait renverse toute la machine des tourbillons.

9°. que la gravitation universelle, ou L'attraction de newton est un principe aussy clair et aussi intelligible que la prétendue circulation de Descartes, parce qu'il est aussy facile de concevoir un corps tendant vers un autre par la loy du souverain moteur qu'un corps circulant autour d'un autre ; que cette tendance est aussi conforme à la nature des corps que la circulation et qu'il est même impossible de concevoir un corps circulant autour d'un autre, sans le concevoir animé de deux forces, l'une qui le porte vers ce corps [f. 180r] et l'autre qui l'en éloigne.

10°. que le Vuide de Newton bien entendû choque bien moins la raison que le plein de Descartes qui renferme l'infinité de la matiere dont l'idée repugne. que d'ailleurs newton ne prétend pas que les espaces celestes soient des vuides parfaits, destitüés de matiere pesante et resistente, ce que démontre le mouvement des corps celestes qui n'a pas encore sensiblement diminüé.

Index des noms propres

A

Adam, Charles
Adamoli, Pierre
Aiton, Eric J.
Alembert, Jean Le Rond D'
Alfonsi, Liliane
Algarotti, Francesco
André, Yves Marie de L'Isle
Anstey, Peter R
Apollonius de Perge
Arcy, Patrick d'
Ariew, Roger
Aristote
Armogathe, Jean-Robert
Azouvi, François

B

Backer, Augustin de
Bacon, Francis
Barrow, Isaac
Basnage de Beauval, Henri
Bayle, Pierre
Belaval, Yvon
Bélidor, Bernard Forest de
Bella, Sandra
Ben Messaoud, Samy
Benoît XIV
Benguigui, Isaac
Berrand, Pierre
Béraud, Laurent
Bernoulli, Daniel
Bernoulli, Jean (I)
Bernoulli, Jean (II)
Bertier, Joseph Etienne
Bertin, Henri Leonard
Bertin, Marion
Besson, Jean-Jacques
Bézout, Etienne
Bilfinger, Georg Bernard
Bimet, Pierre

Boerhaave, Hermann
Bollioud-Mermet, Louis
Borda, Jean-Charles de
Borde, Charles
Borde, Louis
Borges, Jorge Luis
Borghero, Carlo
Bos, Erik-Jan
Bos, Henk J. M.
Bost, Jack
Bossut, Charles
Bottu de Saint Fonds, François
Boucharlat, Jean-Louis
Bouguer, Pierre
Bouillet, Jean
Bouillier Francisque
Bourgelat, Claude
Boyle, Robert
Brahé, Tycho
Breteil, Nicolas
Brun, Jean
Brun-Durand, Justin
Brunet, Pierre
Brockliss, Laurence W. B.
Brossette, Claude
Buhon, Gaspard

C

Cajori, Florian
Calandrini, Jean-Louis
Cantù, Paola
Carcavi, Pierre de
Carré, Louis
Cassini, Jacques
Cassini de Thury, César-François
Castel, Louis Bertrand
Cavalleri, Antoine
Cayer, Jean Ignace
Chaize, François d'Aix de
Chabot, Hugues
Chambers, Ephraïm

Chapront-Touzé, Michelle
Chareix, Fabien
Chales, Claude Milliet de
Chasles, Michel
Chassot, Fabrice
Chatelard, Jean Jacques Sabot du
Châtelet, Gabrielle Emilie Le Tonnelier de Breteuil marquise du
Chauffepié, Jacques Georges
Cheyne, George
Christin, Jean-Pierre
Cheynet (Cheinet, Chenet), Charles
Clairaut, Alexis Claude
Clapasson, André
Claret de La Tourette, Marc Antoine Louis
Clarke, Samuel
Clavius, Christophe
Clerselier, Claude
Clericuzio, Antonio
Cohen, I. Bernard
Colonia, Dominique de
Condorcet, Jean Antoine Nicolas de Caritat marquis de
Cochard, George
Copernic, Nicolas
Côtes, Roger
Costabel, Pierre
Coste, Pierre
Courcelle, Olivier
Crépel, Pierre
Créquy, Jean-Antoine de
Crousaz, Jean Pierre de

D

Dagoumer, Guillaume
Dainville, François de
Darrigol, Olivier
David, Claude
David, Louis
Daugières, Albert
Debeaune, Florimond de
Declaustre, Louis
Delamonce, Ferdinand

Delandine, Antoine François
Delattre, Pierre
Delorme, Guillaume Marie
Demoment, Auguste
Depéry, Jean-Irénée
De Ruolz, Charles Joseph
Desaguliers, Jean Théophile
Descartes, René
Descotes, Dominique
Desfontaines, Pierre François Guyot
Desmaizeaux, Pierre
Deville, Nicolas François
Dhombres, Jean
Dibon Paul
Diderot, Denis
Dobre, Mihnea
Duclos, Jean-Baptiste
Duclos, Samuel Cottereau
Dufay, Charles François de Cisternay
Dugaiby, Etienne
Dugas, Laurent
Duhamel, Jean-Baptiste
Dumas, Jean-Baptiste
Dutour de Salvert, Etienne-François

E

Elisabeth de Bohême
Euclide
Euler, Jean Albert
Euler, Leonhard

F

Fabri, Honoré
Falconnet, Camille
Fellon, Thomas
Fénélon, François de Saligne de La Mothe-Fénélon (dit)
Ferlin, Fabrice
Fermat, Pierre de
Firode, Alain
Fleurieu de La Tourette, Jacques Annibal Claret de
Fontaine des Bertins, Alexis

Fontenelle, Bernard le Bovier de
Foucher de Careil, Louis Alexandre
Frisi, Paolo
Froeschlé-Choppard, Marie-Hélène
Froeschlé, Michel
Fulchiron, Jean
Furetière, Antoine

G

Gagneux, Bruno
Galilée, Galileo
Gamaches, Étienne Simon de
Garden, Maurice
Gassendi, Pierre
Geffroy, Adrien
Geoffroy, Etienne François
Gingras, Yves
Glatigny, Gabriel de
Godin, Louis
Goeffon, Joseph
Gould, William
Gregory, David
Greppo, Jean-Baptiste
Griveaud, Martial
Grollier de Servieres, Gaspard
Gros de Boze, Claude
Guicciardini, Niccolò
Guigues, Claude
Guilbaud, Alexandre
Guillaumat, Pierre
Guisnée, Nicolas
Guitton, Georges
Guerlac, Henry
Guyot, Patrick

H

Halley, Edmond
Hallyn, Fernand
Hamy, Alfred
Hartsoeker, Nicolas
Heilbron, John L.

Heimann, Peter M.
Hertz, Bénédicte
Heuraet, Hendrik van
Homberg, Wilhelm
Home, Rod W.
Hoste, Paul
Hudde, Johannes
Huet, Pierre-Daniel
Huygens, Christiaan
Huygens, Constantin

I

Iltis, Carolyn

J

Jacquier, François
Jallabert, Jean
Jean-Blain, Claude
Jesseph, Douglas
Joannon, Laurent
Joly, Bernard
Jouffroy d'Abbans, Claude
Jouve, Joseph

K

Kant, Emmanuel
Keill, John
Kepler, Johannes
Keranflech, Charles Hercule de
Köllving, Ulla
Koyré, Alexandre

L

L'Hôpital (L'Hospital), Guillaume François Antoine de
La Hire, Philippe de
Lacroix, Antoine de
Lacoarret, Marie
Lalande, Joseph Jérôme Lefrançois de
Lamy, Bernard
Lassale, Le P. (jésuite de Tournon)
Launay, Jean-Baptiste Le Corgne de

Le Gras, Henry
Le Guern, Michel
Le Lay, Colette
Le Lievre, Jean-Baptiste
Le Monnier, Pierre
Le Seur, Thomas
Leclerc de Montmerci
Lefebvre, Pierre
Leibniz, Gottfried Wilhelm
Lémer, Louis
Lemery, Nicolas
Leroy, Maxime
Lespinasse, R. P.
Liger, Pierre
Locke, John
Lombard, Etienne
Lozeran du Fesc, Louis Antoine

M

MacLaurin, Colin
Maimon, Salomon
Mairan, Jean-Jacques Dortous de
Malebranche, Nicolas
Marchand, Henry, dit le père Grégoire
Mariotte, Edme
Maronne, Sébastien
Mathon de la Cour, Jacques
Maupertuis, Pierre Louis Moreau de
Mazière, Jean Simon
McNiven Hine, Ellen
Mersenne, Marin
Michodière, Jean-Baptiste François de la
Moivre, Abraham de
Moegling, Chrétien-Louis
Molières, Joseph Privat de
Montmort, Pierre Remond de
Montègre, Gilles
Montesquieu, Charles Louis de Secondat baron de
Montucla, Jean-Etienne
Morand, Jean Claude Ignace
Motte, Andrew

Mouy, Paul
Moyroud, Vital
Mulard, Pascal
Musschenbroek, Pierre Van

N

Naux, Charles
Necker, Louis
Neto, José R. Maia
Newton, Isaac
Nollet, Jean Antoine

O

Otegem, Matthijs van

P

Paillard, Philippe
Pappus d'Alexandrie
Pardies, Ignace-Gaston
Parisot, Gabriel
Pascal, Blaise
Paulian, Henri-Aimé
Peiffer, Jeanne
Pemberton, Henry
Pernetti, Jacques
Perrichon, Camille
Pestre, Jean
Perrault, Claude
Perru, Olivier
Petitot
Poidebard, William
Poleni, Giovanni
Ponsainpierre, Dominique Du Perron de
Principe, Lawrence M
Ptolémée, Claude
Puget, Louis de
Pupil, abbé

Q

Quincy, Charles Hebert de

R

Rabuel, Claude
Rabuel, François
Racine, Louis
Rameau, Jean-Philippe
Régis, Pierre Sylvain
Regnaud, Antoine François
Regnault, Noël
Rémy, Frédérique
Rey, Guillaume
Reynaud, Denis
Reyneau, Charles-René
Richard, Jean-Olivier
Roberval, Gilles Personne de
Robinet, André
Robinson, Bryan
Roëmer, Ole Christensen
Rohault, Jacques
Rolle, Michel
Rommevaux, Sabine
Rousseau, Jean-Baptiste
Roux, Sophie
Roveda, Lyndia
Rozier, François

S

's Gravesande, Willem Jacob
Sainsot, Alain
Saint-Bonnet, Jean de
Saint-Pierre, Dominique
Saint-Vincent, Grégoire de
Saulmon
Saurin, Joseph
Savérien, Alexandre
Schmit, Christophe
Schooten, Frans van
Schwartz, Claire
Sénac, Jean-Baptiste
Serfati, Michel
Serre, Antoine de
Shank, John Bennett

Sigorgne, Pierre
Sluse, René François de
Sommervogel, Carlos
Sortais, Gaston
Soufflot, Jacques-Germain
Spallanzani, Mariafranca
Stampioen, Jan
Stay, Benoît
Stirling, James

T

Taillandier, Pierre
Tannery, Paul
Taton, René
Taylor, Brook
Ter-Menassian
Terao, Yoshiko
Tillet, Matthieu
Tolomas, Charles Pierre Alexandre Xavier
Tournemine, René-Joseph
Trénard, Louis

V

Valernod
Vallas, Léon
Van Damme, Stéphane
Varignon, Pierre
Verbeek, Theo
Viète, François
Villemot, Philippe
Villeroy, François Louis Anne de Neufville *duc de*
Villeroy, François-Paul de Neufville *de*
Voltaire
Vregille, Paul de
Vuillemin, Jules

W

Walpole, Robert
Webster, Charles
Witt, Jan de
Wolff, Christian von

Tables des illustrations

Chapitre I

Figure 1 : Texte de *La Géométrie* de Descartes et commentaire de Rabuel suivi d'un problème tiré des *Eléments* d'Euclide

Figure 2 : La figure du problème de Pappus dans *La Géométrie* de Descartes

Figure 3 : Les figures du problème de Pappus dans les *Commentaires* de Rabuel (le cercle solution)

Figure 4 : Les figures du problème de Pappus dans *La Géométrie* de Descartes et les *Commentaires* de Rabuel (l'hyperbole solution)

Figure 5 : Rabuel et le calcul de l'infini

Figure 6 : Un symbole étrange de Rabuel

Chapitre II

Figure 1 : Explication de la troisième loi de Kepler par Molières (HARS 1728)

Figure 2 : Privat de Molières, *Les Loix Astronomiques* (HARS 1733)

Figure 3 : Explication de la rotation diurne de la Terre (Villemot, *Nouveau Système*)

Figure 4 : Choc des tourbillons terrestre et lunaire (Villemot, *Nouveau Système*)

Annexe I

Figure 1 : Loi des aires et forces centrales (Mathon, *Introduction à la physique de Newton*)

Figure 2 : Forces centripètes dans les cercles (Mathon, *Introduction à la physique de Newton*)

Bibliographie

Abréviations :

HARS 17XX (17YY) : *Histoire de l'Académie royale des sciences, avec les Mémoires de Mathématiques & de Physique, pour la même Année*, année 17XX, publié en 17YY.

PARS 17XX (17YY), t. Z : *Recueil des pièces qui ont remporté le prix de l'Académie royale des sciences, prix de l'année 17XX* (publié en 17YY), tomaisson Z (1732-1777, 9 t.).

Manuscrits et tapuscrits

Saut mention contraire, les manuscrits utilisés sont ceux de l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Lyon. Les cotes sont indiquées dans les notes et, en l'absence de cote, pour un événement daté, la référence est le registre à la date indiquée.

Imprimés

Primaires

Algarotti Francesco, *Le newtonianisme pour les dames, ou entretiens sur la lumière, sur les couleurs, et sur l'attraction*, Paris, Montalant, 1738.

Apollonius, *Conicorum libri quattuor, una cum Pappi Alexandrini lemmatibus et commentariis Eutocii Ascalonitæ* (F. Commandino éd.), 2 vols., Bononiae, ex officina Alexandri Benatii, 1566.

Arcy chevalier d', *Problème de dynamique*, HARS 1747 (1752), p. 344-361.

Arcy chevalier d', *Suite d'un mémoire de dynamique imprimé dans les Mémoires de 1747*, HARS 1750 (1754), p. 106-107.

Arcy chevalier d', *Théorèmes de dynamique*, HARS 1758 (1763), p. 1-8.

Bacon Francis, *Novum Organum*, in *Instauratio magna scientiarum*, Londini, J. Billium, 1620.

Béraud Laurent, *Dissertation sur la cause de l'augmentation de poids, que certaines matieres acquierent dans leur Calcination*, Bordeaux, P. Brun, 1747.

Béraud 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.

Béraud Laurent, *Theoria Electricitatis*, dans *Dissertationes selectæ Jo. Alberti Euleri, Paulli Frisii, et Laurentii Beraud, quæ ad Imperialem Scientiarum Petropolitanam Academiam An. 1755. missæ sunt, cum Electricitatis causa, & theoria, præmio proposito, quæretur*, Petropoli & Lucæ, Vincentium Junctinium, 1757, p. 135-204.

Bernoulli Daniel, *Disquisitiones Physico-Astronomica problematis ab inclyta Scientiarum Academia Regia, quæ Parisiis floret, iterùm propositi*, PARS 1734 (1738), t. III.

Bernoulli Jean (I), *Nouvelles pensées sur le Système de M. Descartes et la manière d'en déduire les Orbites & les Aphélie des Planètes*, PARS 1730 (1732), t. II.

Bernoulli Jean (I), *Essay d'une Nouvelle Physique céleste, servant à expliquer les principaux phénomènes du ciel, et en particulier la cause physique de l'inclinaison des orbites des planètes par rapport au plan de l'équateur du soleil*, PARS 1734 (1738), t. III, 1738.

Bernoulli Jean (II), *Recherches Physiques et Géométriques sur la Question : Comment se fait la Propagation de la Lumière*, PARS 1736 (1752) t. III.

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*, Paris, Imprimerie Royale, 1763.

Bilfinger Georg Bernard, *De causa gravitatis physica generali disquisitio experimentalis*, PARS 1728 (1732), t. II.

Boerhaave Hermann, *Elémens de Chymie*, Amsterdam, Leipzig, Arkstee et Merkus, 1752.

Bossut Charles, *Traité élémentaire de mécanique et de dynamique. Appliqué principalement aux Mouvemens des Machines*, Charleville, Thesin, 1763.

Bossut Charles, *Histoire générale des mathématiques*, 2 tomes, Paris, F. Louis, 1810.

Bouguer Pierre, *Entretiens sur la cause de l'inclinaison des orbites des planetes*, Paris, Jombert, 1734 (2^e éd. en 1748).

Bouillet Jean, *Dissertation sur la cause de la multiplication des fermens*, Bordeaux, R. Brun, 1719.

Boyle Robert, *New Experiments Physico-Mechanical, touching the Spring of the Air, and its Effects*, Oxford, Hall and Robinson, 1660.

- Boyle Robert, *Exercitationes de Atmosphaeris Corporum Consistentium*, Londini, Guil. Godbid, 1673.
- Boyle Robert, *The Works of the Honourable Robert Boyle*, London, A. Millar, 1744.
- Boyle Robert, *New experiments to make fire and flame stable and ponderable ; Additional experiments about arresting and weighing of igneous corpuscules*, in *The Works of the Honourable Robert Boyle*, vol. III, London, W. Johnston, 1772, p. 706-717.
- Boyle Robert, *Additional experiments about arresting and weighing of igneous corpuscules*, in *The Works of the Honourable Robert Boyle*, vol. III, London W. Johnston etc., 1772, p. 718-722.
- Carré Louis, *Méthode pour la mesure des surfaces, la dimension des solides, leurs centres de pesanteur, de percussion et d'oscillation par l'Application du Calcul Intégral*, Paris, J. Boudot, 1700.
- Castel Louis-Bertrand, *Mathématique universelle abrégée à l'usage et à la portée de tout le monde*, Paris, Chez Pierre Simon, 1728.
- Castel Louis-Bertrand, « Discours préliminaire » in Edmund Stone, *Analyse des infiniment petits...traduit en françois par M. Rondet*, Paris, J.-M. Gandouin et P.-F. Giffart, 1735, pages iii-c.
- Castel Louis-Bertrand, *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.
- Cassini Jacques, *De la manière de concilier dans l'hypothèse des tourbillons les deux règles de Kepler*, HARS 1736 (1739), p. 233-243.
- Castel Louis-Bertrand, *L'Optique des couleurs*, Paris, Briasson, 1740.
- Castel Louis-Bertrand, *Le vrai système de physique generale de M. Isaac Newton, exposé et analysé en parallele avec celui de Descartes ; à la portée du commun des Physiciens*, Paris, Claude-François Simon, 1743.
- Chauffepié Jacques Georges, *Nouveau Dictionnaire historique et critique, pour servir de supplément ou de continuation, au Dictionnaire historique et critique de M. Pierre Bayle*, 4 vol., Amsterdam, Chatelain, 1750-1756.
- Chambers Ephraïm, *Cyclopadia, or, an Universal Dictionary of Arts and Sciences*, 2 vol., London, J. et J. Knapton, 1728.
- Châtelet Gabrielle Emilie de Breteuil marquise du, *Dissertation sur la nature & la propagation du feu*, PARS 1738 (1752), t. IV.
- Cheyne Georges, *Fluxionarum methodus inversa*, Londini, J. Matthews, 1703.
- Clairaut Alexis Claude, *Théorie de la figure de la Terre*, Paris, David fils, 1743.
- Clairaut Alexis Claude, *Théorie du mouvement des comètes*, Paris, Lambert, 1759.
- Colonia, Dominique de, *Histoire Littéraire de la ville de Lyon, avec une bibliothèque des auteurs lyonnais, sacrez et profanes distribuez par siècles*, 2 vols, François Rigollet, Lyon, 1728-1730.
- 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 encore 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 differente du corps, active, libre, immortelle. Vérités que la raison démontre ; et que la révélation met au-dessus du tout doute*, Basle, J. Christ, 1741.
- 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.
- De Moivre Abraham, *Proprietates quædam simplices Sectionum Conicarum ex natura Focorum ductæ ; cum Theoremate generali de Viribus Centripetis*, dans *Philosophical Transactions*, vol. XXX, 1717, London, W. et J. Innys, 1720, p. 622-628.
- Descartes René, « La Géométrie », in *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences. Plus la Dioptrique. Les Meteores. & la Geometrie qui sont des essais de cette Methode*, Leyde, I. Maire, 1637, p. 297-413.
- Descartes René, *Geometria à Renato Des Cartes anno 1637 gallice edita...* (F. van Schooten éd.), Lugduni Batavorum, Ex officinâ Ioannis Maire, 1649.
- Descartes René, *Lettres de M. Descartes* (Cl. Clerselier éd.), 3 vols., Paris, Angot, 1657-1667.
- Descartes René, *Geometria a Renato Des Cartes anno 1637 gallice edita, postea autem...* (F. van Schooten éd.), 2 vols., Amsteladami, Ludovicum & Danielem Elzevirios, 1659-1661.
- Descartes René, *La Géométrie de René Descartes*, Paris, Charles Angot, 1664.
- Descartes René, *La Géométrie de M. Descartes divisée en trois livres*, Paris, la veuve Barbin, 1705.

- Descartes René, *Lettres de M. Descartes qui traitent de plusieurs belles questions concernant la morale, la physique, la médecine et les mathématiques...* (Cl. Clerselier éd.), 3 t. en 6 vols. in-12, Paris, La Compagnie des libraires, 1724-1725.
- Descartes, René, *The Geometry of Rene Descartes with a facsimile of the first édition* (D.E. Smith et M. L. Latham trad. et comm.), New York, Dover, 1954.
- Descartes, René, *Œuvres de Descartes*, C. Adam et P. Tannery, nouvelle présentation par B. Rochot et P. Costabel, 11 vols., Paris, Vrin, 1964-1974.
- Descartes, René, *La géométrie*, in *Œuvres de Descartes*, C. Adam et P. Tannery, nouvelle présentation par B. Rochot et P. Costabel, t. VI., Paris, Vrin, 1964-1974, p. 367-485.
- Descartes René, *Principes de la philosophie*, in *Œuvres de Descartes*, C. Adam et P. Tannery, nouvelle présentation par B. Rochot et P. Costabel, t. XI., Paris, Vrin, 1964-1974.
- Descartes, René, *The Correspondence of René Descartes 1643* (T. Verbeek, E.-J. Bos et J. van de Ven éd.), Utrecht, Zeno Institute of Philosophy, volume XLV de Quæstiones Infinitæ, 2003.
- Desfontaines Pierre-François Guyot, *Observations sur les écrits modernes*, t. XV, Paris, Chaubert, 1738.
- Desmaizeaux Pierre, *Recueil de diverses pièces, sur la philosophie, la religion naturelle, l'histoire, les mathématiques, &c. par Mrs Leibniz, Clarke, Newton, et autres auteurs célèbres*, Amsterdam, Du Sauzet, 1720.
- Dictionnaire universel françois et latin*, 3 vol., Trévoux, Ganeau, 1704.
- Dictionnaire universel françois et latin*, 5 vol., Paris, Delaulne, 1721.
- Dictionnaire de l'Académie françoise*, 2 t., Paris, veuve de B. Brunet, 1762.
- Duclos Jean-Antoine, *Elemens de mathematiques, contenant les elemens de geometrie, d'arithmetique, d'algebre & d'analyse*, Lyon, Claude Perrot, 1737.
- Duhamel Jean-Baptiste, *Regiæ Scientiarum Academia Historia*, Paris, Jean-Baptiste Delespine, 1701 (2^e édition).
- Dufay Charles François de Cisternay, *Observations sur quelques Expériences de l'Aimant*, HARS 1728 (1730), p. 355-369.
- Dufay Charles François de Cisternay, *Suite des Observations sur l'Aimant*, dans *Histoire*, HARS 1730 (1732), p. 142-157.
- Dufay Charles François de Cisternay, *Troisième Mémoire sur l'Aimant*, HARS 1731 (1733), p. 417-432.
- Dufay Charles François de Cisternay, *Quatrième mémoire sur l'électricité*, dans *Histoire de l'académie royale des sciences*, HARS 1733 (1735), p. 457-477.
- Dortous de Mairan Jean-Jacques, *Dissertation sur la Glace ou explication Physique de la formation de la Glace, & de ses divers Phenomenes*, Bordeaux, P. Brun, 1716.
- Dortous de Mairan Jean-Jacques, *Dissertation sur la cause de la Lumière, des Phosphores & des Noctiluques*, Bordeaux, R. Brun, 1717.
- Dortous de Mairan Jean-Jacques, *Nouvelles Conjectures sur la Cause du Mouvement diurne de la Terre sur son axe d'Occident en Orient*, HARS 1729 (1731), p. 41-68.
- Dortous de Mairan Jean-Jacques, *Eloge de M. l'abbé de Molières*, *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1742, Paris Imprimerie royale, 1745, p. 195-205.
- Dortous de Mairan, Jean-Jacques, *Dissertation sur la glace* (Paris : Imprimerie royale, 1749).
- Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de Lettres*, Paris, Briasson, David l'aîné, Le Breton, Durand, puis Neufchâtel, Faulche et Compagnie, 1751-1772.
- Euclide, *Euclidis Elementorum libri XV*, 2 vols., Romæ, Vincentium Accoltum, 1574.
- Euclide, *Euclidis Elementorum libri XV*, 2 vols., Romæ, Bartholemaicum Grassium, Romæ, 1589.
- Euler Leonhard, *Introductio in Analysin Infinitorum*, 2 vols., Lausanne, Marcum-Michælem Bousquet & Socios, 1748. *Opera Omnia*, ser. I, vols. 8 et 9.
- Falconnet, *Quadrature géométrique du secteur du cercle de 45 degrés*, s.l.n.éd., 1739
- Fermat Pierre de, « De solutione problematum geometricorum per curvas simplicissimas et unicuique problematum generi proprie convenantes. Disseratio tripartita », in *Varia Opera Mathematica*, Tolosae, apud Johanem Pech, 1679, p. 110-115. *Œuvres*, I, 118-131 ; III, 109-120 (trad. française).
- Fontenelle Bernard le Bovier de, *Entretiens sur la pluralité des mondes*, Paris, Veuve Blageart, 1686.
- Fontenelle Bernard le Bovier de, *Sur la vitrification de l'Or*, HARS 1707 (1730), p. 30-31.
- Fontenelle Bernard le Bovier de, *Sur les Forces centrales des planètes*, HARS 1707 (1730), p. 97-103.
- Fontenelle Bernard le Bovier de, *Eloge de M. de Montmort*, HARS 1719 (1721), p. 83-93.
- Fontenelle Bernard le Bovier de, *Eloge de M. Neuton*, HARS 1727 (1729), p. 151-172.
- Fontenelle Bernard le Bovier de, *Sur les Mouvements en Tourbillons*, HARS 1728 (1730), p. 97-103.
- Fontenelle Bernard le Bovier de, *Sur l'aiman*, HARS 1733 (1735), p. 13-17.

- Fontenelle Bernard le Bovier de, *Sur l'Attraction Newtonienne*, HARS 1732 (1735), p. 112-117.
- Fontenelle Bernard le Bovier de, *Sur les Figures que les Planetes prennent par la Pesanteur*, HARS 1734 (1736), p. 83-104.
- Furetière Antoine, Basnage de Beauval Henri, *Dictionnaire universel*, La Haye, Rotterdam, Arnoud et Reiner Leers, 1702.
- Gamaches Etienne Simon de, *Système du mouvement*, Paris, Garnier, 1721.
- 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 Etienne François, *Expériences sur les Metaux, faites avec le Verre ardent du Palais Royal*, HARS 1709 (1733), p. 162-176.
- Gregory David, *Astronomiæ Physicæ et Geometricæ Elementa*, Oxoniae, e theatro Sheldoniano, 1702 (Genève, 1726)
- Gould William, *Experimenta circa incrementum ponderis in oleo Vitrioli ari exposito, una cum inventis quibusdani novis Hygroskopis*, *Acta Eruditorum* Anno 1685, Lipsiæ, J. Grossium et J. F. Gletitschium, 1685, p. 315-317.
- Gua de Malves Jean-Paul, *Recherches du nombre de racines réelles ou imaginaires, réelles positives ou réelles négatives qui peuvent se trouver dans les équations de tous les degrés*, HARS, 1741 (1744), p. 95 et p. 435-458.
- Guisnée Nicolas, *Application de l'algebre a la geometrie, ou Methode de démontrer, par l'algebre, les theorèmes de geometrie, & d'en résoudre & construire tous les problèmes*, Paris, Jean Boudot [...] et Jacques Quillau [...], 1705.
- Hartsoeker Nicolas, *Conjectures Physiques*, Amsterdam, Henri Desbordes, 1706.
- Homberg Wilhelm, *Suite des essais de chimie. Article troisième. Du Souphre principe*, HARS 1705 (1730), p. 88-96.
- Huet Pierre-Daniel, *Censura philosophiæ cartesianæ*, Parisi, Danielem Horthemels, 1689.
- Huygens Christian, *Traité de la lumière. Avec un Discours sur la Cause de la pesanteur*, Leyde, P. vander Aa, 1690.
- Jallabert Jean, *Expériences sur l'Electricité, avec quelques conjectures sur la cause de ses effets*, Genève, Barrillot & Fils, 1748.
- Le Journal des Sçavans*, Paris, Witte, Cusson, Chaubert, Quillau, etc., 1665-1792.
- Keill John, *Introductio ad veram astronomiam*, Londres, Clements, 1718.
- Keranflech Charles-Hercule de, *L'Hypothèse des petits Tourbillons, justifiée 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, Julien-Charles Vatar, 1774.
- L'Hôpital Guillaume-François-Antoine de, *Analyse des infiniments petits pour l'intelligence des lignes courbes*, Paris, de l'Imprimerie Royale, 1696.
- L'Hôpital Guillaume-François-Antoine de, *Traité analytique des sections coniques et de leur usage pour la résolution des équations*, Paris, Vve Bounot et fils, 1707. Réimpr., Paris, chez Montalant, 1720.
- La Hire Philippe de, « La construction des équations analytiques », in *Nouveaux elemens des sections coniques, les lieux geometriques, la construction, ou effection des equations*, Paris, chez André Pralard, 1679, p. 297-542.
- La Hire Philippe de, *Remarques sur la construction des Lieux Geometriques & des Equations*, HARS 1710 (1732), p. 7-45.
- La Hire Philippe de, *Remarques sur La Geometrie de M. Descartes*, HARS 1712 (1731), p. 255-266.
- Lamy François, *Lettres philosophiques sur divers sujets importants*, Trévoux, Imprimerie de S. A. S, 1703.
- Le Corgne de Launay Jean-Baptiste, *Réponse aux Principales Objections contenues dans l'Examen des Leçons de Physique de M. l'Abbé de Molières*, Paris, J. Clousier, 1741.
- Le Corgne de Launay Jean Baptiste, *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 Febvre, *Eloge historique du père Béraud*, Lyon, Aimé de la Roche, 1780.
- Le Seur Thomas et Jacquier François (1739). *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica. Auctore Isaaco Newtono. Eq. Aurato. Perpetuis Commentariis illustrata*, 3 t., Geneva, Barrillot et filii, 1739-1742.
- Le vrai système de Physique Générale de M. Isaac Newton, exposé et analysé en parallèle avec celui de Descartes ; à la portée du commun des Physiciens. Par le R. P. Louis Castel*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Octobre 1743, p. 2584-2630 ; Décembre 1743, p. 2974-3020 ; Février 1744, p. 232-232.
- Leclerc de Montmerci Claude-Germain, *Épître au R. P. de La Tour, principal du collège de Louis le Grand*, Paris, J.-N. Leloup, 1749.
- Lémery Louis, *Conjectures et reflexions. Sur la matiere du Feu ou de la Lumiere*, HARS 1709 (1733), p. 400-418.
- Lemery Nicolas, *Cours de Chymie*, Leyde, Theodore Haak, 1716 (11^e éd.).
- Locke John, *Essai philosophique concernant l'entendement humain* (trad. P. Coste), Amsterdam, H. Schelte, 1700.
- Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la cause et la nature du tonnerre et des éclairs*, Bordeaux, R. Brun, 1726.

- Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la nature de l'air*, Bordeaux, Pierre Brun, 1733.
- Lozeran du Fesc, *Dissertation sur la dureté, la molesse et la fluidité des corps*, Bordeaux, Pierre Brun, 1735.
- Lozeran de Fesc, *Discours sur la propagation du Feu*, PARS 1738 (1752), t. IV.
- Maclaurin Colin, *An Account of Sir Isaac Newton's Philosophical Discoveries*, London, P. Murdoch, 1748.
- Malebranche Nicolas, *Œuvres complètes*, A. Robinet (dir.), Paris, Vrin, 1958-1970.
- Mariotte Edme, *De la nature de l'air*, in *Œuvres de M. Mariotte*, tome I, Leide, P. Vander Aa, 1717.
- Mathon de la Cour Jacques, *Dissertation en forme de Lettre de Mr Mathon de la Cour, Sur un livre du R.P. Castel de la compagnie de Jesus et de la société royale de Londres, intitulé le vray système de physique generale de Mr Isaac Newton, exposé et analysé en parallele avec celui de Descartes*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Juillet 1744, p. 1212-1230.
- Mathon de la Cour Jacques, *Mémoire sur la manière la plus avantageuse de suppléer à l'action du vent sur les grands vaisseaux*, PARS 1753 (1771), t. VIII.
- Mathon de la Cour Jacques, *Nouveaux Éléments de Dynamique et de Mécanique*, Lyon, Perisse, 1763.
- Mathon de la Cour Jacques, *Essai du calcul d'une machine mue par la réaction de l'eau*, dans *Observations de physique*, t. V (1er semestre 1775), p. 73-85 et *Suite du mémoire de M. Mathon de la Cour, de l'Académie de Lyon, sur la machine mue par la réaction de l'eau*, t. VI (2e semestre 1775), p. 166-169 + pl., Paris, 1775.
- Maupertuis Pierre Louis Moreau de, *Discours sur les différentes figures des astres*, Paris, Imprimerie royale, 1732.
- Mazière Jean-Simon, *Traité des petits tourbillons de la matière subtile*, Paris, Jombert, Pissot, 1727 dans PARS (1726), 1732, t. I.
- Mazière Jean-Simon, *Les loix du choc des corps à ressort parfait ou imparfait, déduites d'une explication probable de la cause physique du ressort*, PARS 1726 (1732), t. I.
- Milliet de Chales, Claude-François, *Cursus seu Mundus mathematicus*, 4 t., Lugduni, apud Anissonios, Joan. Posuel & Claud. Rigaud, 1690. [Une première édition en 3 vols. a paru à Lyon en 1674].
- Mémoires pour l'histoire des sciences & des beaux-arts* [*Mémoires de Trévoux* ou *Journal de Trévoux*], Trévoux, Imprimerie de S. A. S, Paris, Chaubert, Briasson, Hérisant etc., 1701-1767.
- Mémoires pour l'histoire des Sciences & des beaux Arts*, Trévoux, 1721 (mai 1721), p. 823-857
- Mémoires pour l'histoire des Sciences & des beaux Arts*, Trévoux, 1739 (octobre 1739), p. 2112-2151
- Molières Joseph Privat de, *Leçons de mathématiques nécessaires pour l'intelligence des principes de physique qui s'enseignent actuellement au Collège Royal*, Paris, 1725.
- Molières Joseph Privat de, *Loix générales du Mouvement dans le Tourbillon Sphérique*, HARS 1728 (1730), p. 245-267.
- Molières 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*, HARS 1729 (1731), p. 235-244.
- Molières Joseph Privat de, *Leçons de Physique*, 4 t., Paris, Veuve Brocas, Musier, Joseph Billot, 1733-1739.
- Molières Joseph Privat de, *Les Loix Astronomiques des visteses des Planetes dans leurs Orbes expliquées mécaniquement dans le Système du Plein*, HARS 1733 (1735), p. 301-312.
- Molières Joseph Privat de, *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.
- Montucla, Jean-Etienne, *Histoire des Mathématiques*, 2 vols., Paris, Chez A. Jombert, 1758.
- Montucla, Jean-Etienne, *Histoire des Mathématiques*, 4 vols., Paris, Chez Henri Agasse, 1798-1802.
- Musschenbroek Pierre Van, *Essai de Physique*, Samuel Luchtmans, 1739.
- Necker Louis, *Theses Physicæ de Electricitate, quas, favente Deo, sub prasidio D. D. Joh. Jallabert*, Genevæ, Barrillot et filii, 1747.
- Newton Isaac, *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, Londini, Societatis Regiæ, 1687.
- Newton Isaac, *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, editio secunda Auctior et Emendatior, Cantabridgiæ, 1713.
- Newton Isaac, *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, editio terti Aucta et Emendata, Londini, Guil. & Joh. Innys, 1726.
- Newton Isaac, *Opticks or, a Treatise of Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*, London, Sam. Smith, 1704.
- Newton Isaac, *Optice sive de Reflexionibus, Refractionibus, Inflexionibus & Coloribus Lucis*, Londini, Sam. Smith & Benj. Walford, 1706.
- Newton Isaac, *Opticks or, a Treatise of Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light, The Second Edition, with additions*, London, W. and J. Innys, 1718.
- Newton Isaac, *Traité d'optique*, trad. Coste, Amsterdam, Pierre Humbert, 1720.

- Newton Isaac, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, trad. Andrew Motte, 2 vol., London, B. Motte, 1729.
- Newton Isaac, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, 2 t., trad. M. du Châtelet, Paris, Desaint, Saillant, Lambert, 1759.
- Nollet Jean Antoine, *Leçons de Physique Expérimentale*, 6 t., Paris, Frères Guerin, 1743-1764.
- Nollet Jean Antoine, *Conjectures sur les causes de l'Electricité des Corps*, HARS 1745 (1749), p. 107-151.
- Nollet Jean Antoine, *Essai sur l'Electricité des Corps*, Paris, Freres Guerin, 1746.
- Nouveau cours de chymie suivant les principes de Newton et de Stball*, Paris, J. Vincent, 1723.
- Nouvelles littéraires contenant ce qui se passe de plus considérable dans la République des Lettres*, 11 vol., La Haye, H. du Sauzet, 1715-1720.
- Pappus, *Pappi Alexandrini mathematica collectiones* (F. Commandino éd.), Pisauri, apud Hieronymum Concordiam, 1588.
- Pardies Ignace-Gaston, *Œuvres du R.P. Ignace-Gaston Pardies de la Compagnie de Jésus...*, Lyon, Les frères Bruyset, 1725. Précédentes éditions : Lyon, chez Jean-Baptiste Barbier, 1695 ; Lyon, chez Antoine Besson, 1709.
- Paulian Aimé-Henri, *Système général de philosophie, extrait des ouvrages de Descartes et de Newton*, 4 vols., Avignon, Vve Girard et Séguin, 1769.
- Pemberton Henry, London, *A View of Isaac Newton's Philosophy*, S. Palmer, 1728.
- Pemberton Henry, *Anfangsgründe der newtonischen Philosophie*, aus dem Englischen mit Anmerkungen und einer Vorrede von Salomon Maimon, Berlin, Friedrich Maurrer, 1793.
- Pernetti Jacques, *Recherches pour servir à l'histoire de Lyon ou Les Lyonnais dignes de mémoire*, Lyon, chez les frères Duplain, 1757.
- Rabuel Claude, *Commentaires sur la Géométrie de M. Descartes*, Lyon, Marcellin Duplain, 1730.
- Régis Pierre Sylvain, *Système de philosophie*, 6 t., Lyon, Anisson, Posuel, Rigaud, 1691.
- Rey Guillaume, *Extrait d'un écrit intitulé Réflexions sur la Démonstration que M. de Malezieux a prétendu donner de la Règle de Kepler*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Août 1726, p. 1436-1440.
- Reyneau, Charles, *Analyse démontrée ou la méthode de résoudre les problèmes des mathématiques et d'apprendre facilement ces sciences*, 2 vols., Paris, chez Jacques Quillau, 1708.
- Rohault Jacques, *Traité de physique*, Paris, Veuve Charles Savreux, 1671.
- Rolle Michel, *Eclaircissements sur la construction des égalitez*, HARS 1708 (1730), p. 339-365.
- Rolle Michel, *De l'évanouissement des quantités inconnues dans la géométrie analytique*, HARS 1709a (1732), p. 419-450.
- Rolle Michel, *Eclaircissements sur la construction des égalitez : second mémoire*, HARS 1709b (1732), p. 320-350.
- Rolle Michel, *Remarques sur un paradoxe des effections géométriques*, HARS 1713 (1739), p. 243-261.
- Rousseau Jean-Baptiste, *Œuvres de Jean-Baptiste Rousseau*, nouvelle édition, 3 vol., Bruxelles, 1743.
- s'Gravesande Willem Jacob, *Physices elementa mathematica, experimentis confirmata, sive introductio ad philosophiam Newtonianam*, Lugdunum Batavorum, P. Vander Aa & Balduinum J. Vander Aa, 1720-1721.
- 's Gravesande Willem Jacob, *Elemens de physique demontrez mathematiquement, et confirmez par des experiences ; ou introduction a la philosophie newtonienne*, Leyde, J. Arn. Langerak, J. et H. Verbeek, 1746.
- Saint-Vincent Grégoire de, *Opus geometricum quadraturæ circuli et sectionum conii decem libris comprehensum*, Anvers, I. et I. Meursios, 1647.
- Saurin Joseph, *Examen d'une difficulté considérable proposée par M. Hugbens contre le Sytème Cartésien sur la cause de la Pesanteur*, HARS 1709 (1723), p. 131-148.
- Savérien Alexandre, *L'Art de mesurer sur mer le sillage du vaisseau*, Paris, Jombert, 1750 (exemplaire de l'Académie de Lyon, cote 200020).
- Sigorgne Pierre, *Replique à M. de Molières, ou Demonstration Physico.Mathématique de l'impossibilité & de l'insuffisance des Tourbillons*, Paris, J. Clousier, 1741.
- Sigorgne Pierre, *Examen et réfutation des leçons de physique expliquées par M. de Molières, au Collège royal de France*, Paris, Clousier, 1741.
- Sigorgne Pierre, *Institutions newtoniennes, ou Introduction à la Philosophie de M. Newton*, Paris, Quillau, 2 vol., 1747 (1769 pour la 2^e éd.).
- Stone Edmund, *Analyse des infiniment petits comprenant le calcul intégral dans toute son étendue... Traduit en François par M. Rondet*, Paris, J.-M. Gandouin et P.-F. Giffart, 1735.
- Sur les tourbillons cartésiens*, HARS 1741 (1744), p. 1-10.
- Tolomas Charles Pierre Xavier [attribué], *Les Pourquoi, ou Questions sur une grande affaire pour ceux qui n'ont que trois minutes à y donner. Auxquels on a joint les Parce que, pour la commodité de ceux qui ne veulent pas employer une*

minute à les chercher, [Avignon], sans éditeur, 1762. Cote BM Lyon de l'exemplaire annoté par Adamoli : 809717.

Viète François, *Apollonius Gallus*, in F. van Schooten (éd.), *Opera Mathematica*, Lugduni Batavorum, ex officina Bonenvaturæ et A. Elzeviriorum, 1646, p. 325-346. Première édition : Paris, David Le Clerc, 1600.

Villemot Philippe, *Nouveau système ou nouvelle explication du mouvement des Planetes*, Lyon, L. Declaustre, 1707.

Villemot Philippe, *Nouveau système ou nouvelle explication du mouvement des Planetes, par Messire Philippe Villemot*, dans *Mémoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts*, Mai 1708, p. 860-870.

Virorum Celeberr. Got. Gul. Leibnitii et Johan Bernoulli commercium philosophicum et mathematicum, t. II, Lausannæ et Genevæ, Bousquet, 1745.

Voltaire, *Lettres philosophiques*, Amsterdam, E. Lucas, 1734.

Voltaire, *Éléments de la philosophie de Newton*, Amsterdam, E. Ledet, 1738.

Voltaire, *Essai sur la nature du feu et sur sa propagation*, PARS 1738 (1752), t. IV.

Wolff Christian von, *Elementa matheosos universæ*, vol. 2, Genève, Bousquet, 1733.

Wolff Christian von, *Elementa matheosos universæ...editio novissima*, 5 vols., Genevæ, Henricum-Albertum Gosse, 1743-1752.

Secondaire

Aiton Eric John, *The vortex theory of planetary motions*, Londres, New York, MacDonald, American Elsevier, 1972.

Alfonsi Liliane, *Etienne Bézout (1730-1783), mathématicien des Lumières*, Paris, L'Harmattan, 2011

Anstey Peter R., « Le ressort de l'air selon Boyle et Mariotte », dans *La philosophie naturelle de Robert Boyle*, in M. Dennehy et C. Ramond (dir.), Paris, Vrin, 2009, p. 379-403.

Ariew Roger, *Descartes and the First Cartesians*, Oxford, Oxford University Press, 2014.

Armogathe Jean-Robert, « La Correspondance de Descartes comme laboratoire intellectuel », in J.-R. Armogathe G. Belgioioso et Cl. Vinti (éds.), *La biografia intellettuale di René Descartes attraverso la Correspondance : atti del Convegno Descartes et l'Europe savante, Perugia, 7-10 ottobre 1996*, Napoli, Vivarium, 1999, p. 5-22.

Azouvi François, *Descartes et la France*, Paris, Fayard, 2002. Réédition: Paris, Hachette Littératures, Pluriel, 2006 (les références renvoient à cette édition).

Backer Augustin de, *Bibliothèque des écrivains de la Compagnie de Jésus...*, 3 vols., nouvelle édition. Liège, L'auteur, 1869-1876.

Belaval Yvon, *Leibniz critique de Descartes*, Paris, Gallimard, 1960. Nouvelle édition, Paris, Gallimard, TEL, 1976 (les références renvoient à cette édition).

Benguigui Isaac, *Théories électriques du XVIII^e siècle. Correspondance Nollet-Jallabert*, Genève, Georg, 1984.

Bertin Marion, *Le Collège de la Trinité: Histoire d'une Bibliothèque et de son Cabinet de Curiosités* (mémoire de master), Villeurbanne, ENSSIB, 2014 (en ligne).

Bonno Gabriel Dominique, « La culture et la civilisation britanniques devant l'opinion française de la paix d'Utrecht aux Lettres philosophiques (1713-1734) », *Trans. Amer. Phil. Soc.*, 38-1, juin 1948.

Borghero Carlo C., *Les cartésiens face à Newton. Philosophie, science et religion dans la première moitié du XVIII^e siècle newtoniens*, Turnhout, Brepols, 2011.

Bos Erik-Jan, *The Correspondence between Descartes and Henricus Regius*. Utrecht, The Department of Philosophy of Utrecht, Quæstiones Infinitæ, 2002.

Bos Henk J.M., « Arguments on motivation in the rise and decline of a mathematical theory : the "construction of equations", 1637-ca. 1750. », *Archive for history of exact sciences*, 30, 1984, p. 331-380.

Bos Henk J.M., « La structure de la Géométrie de Descartes », *Revue d'Histoire des Sciences*, 51(2-3), 1998, p. 291-317.

Bos Henk J.M., *Redefining Geometrical Exactness. Descartes' Transformation of the Early Modern Concept of Construction*, New York, Springer, 2001.

Bouillier Francisque, *L'académie de Lyon au XVIII^e siècle : discours prononcé le 3 février, dans la séance publique de l'Académie impériale des sciences, belles-lettres et arts de Lyon*, Paris/Lyon, Durand/Brun, 1857.

Bouillier Francisque, *Histoire de la philosophie cartésienne*, 2 vols., 3^e éd., Paris, C. Delagrave, 1868.

Brockliss Laurence W. B., « Le contenu de l'enseignement et la diffusion des idées nouvelles », in Jacques Verger (dir.), *Histoire des universités en France*, Toulouse, Bibliothèque historique Privat, 1986, p. 199-253.

Brockliss Laurence W. B., *French Higher Education in the Seventeenth and Eighteenth Centuries, A Cultural History*, Oxford, Clarendon Press, 1987.

- Brun-Durand Justin, *Dictionnaire biographique et biblio-iconographique de la Drôme*, Grenoble, Librairie dauphinoise, t. 1, 1900.
- Brunet Pierre, *L'introduction des théories de Newton en France au XVIII^e siècle avant 1738*, Genève, Slatkine reprints, 1970.
- Cajori Florian, *A history of mathematical notations*, 2 vols., La Salle, Illinois, The Open Court Publishing Company, 1928-1929. Réédité par Dover, New York, 1993.
- Cantù Paola, « Mathematics. systematical concepts », in R. Theis et A. Aichele (dir.), *Handbook Christian Wolff*, New York, Springer, 2017.
- Chabot Hugues, Ferlin Fabrice, « Capillarité, adhésion, cohésion : physique explicative et physique expérimentale chez Dutour de Salvert (1711-1789) », in Pierre Crépel, Jean Ehrard (dir.), *Étienne-François Dutour de Salvert (1711-1789), Un physicien auvergnat du XVIII^e siècle*, Paris, L'Harmattan, 2014, p. 227-301
- Chabot Hugues et 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.
- Chasles Michel, *Aperçu historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie*, Bruxelles, Hayez, 1837. Réimpr. Jacques Gabay, Paris, 1989.
- Chapront-Touzé Michelle, *Premiers textes de mécanique céleste*, dans Jean Le Rond D'Alembert, *Œuvres complètes*, vol. I-6, Paris, CNRS éditions, 2002.
- Chareix Fabien, *La philosophie naturelle de Christiaan Huygens*, Paris, Vrin, 2006
- Chassot Fabrice, *Le Dialogue scientifique au XVIII^e siècle, Postérité de Fontenelle et vulgarisation des sciences*, Paris, Classiques Garnier, 2012.
- Chouillet Anne-Marie, « Le clavecin oculaire du Père Castel », *Dix-huitième siècle*, n° 8, 1976, p. 141-166
- Chouillet Anne-Marie et Hardesty Doig Kathleen, « 144. Castel, Louis (1688-1757) », in Jean Sgard (dir.), *Dictionnaire des journalistes*, t. 1, Oxford, Voltaire Foundation, 1999, p. 192-193
- 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, « A redefinition of Boyle's chemistry and corpuscular philosophy », *Annals of science*, vol. 47, 1990, p. 561-589.
- Clericuzio Antonio, *Principles and Corpuscles. A Study of Atomism and Chemistry in the Seventeenth Century*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Cohen I. Bernard, *Isaac Newton's papers and letters on natural philosophy and related documents*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 1958.
- Cohen I. Bernard, « Pemberton's Translation of Newton's *Principia*, With Notes on Motte's Translation », *Isis*, 54, 1963, p. 319-351.
- Cohen I. Bernard, *Introduction to Newton's 'Principia'*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 1971.
- Costabel Pierre, « L'Oratoire de France et ses collèges », dans René Taton (dir.), *Enseignement et diffusion des sciences au XVIII^e siècle*, Paris, Hermann, 1986 [1^{ère} édition : 1964], p. 67-100.
- Costabel Pierre, « Descartes et la Mathématique de l'Infini », *Historia Scientiarum* 29, p. 37-49.
- Courcelle Olivier, « La publication tardive des Principes mathématiques », in U. Köllving et O. Courcelle (dir.), *Emilie du Châtelet, éclairages et documents nouveaux*, Ferney-Voltaire, EIRDS, 2008, p. 301-308.
- Crépel Pierre, « Tolomas (1706-1762) », in Dominique Saint-Pierre (dir.), *Dictionnaire historique des académiciens de Lyon (1700-2016)*, Lyon, ASBLA, 2017.
- Crépel Pierre et Montègre Gilles (dir.) *François Jacquier. Un savant des Lumières entre le cloître et le monde* sous la direction de Pierre Crépel et Gilles Montègre, à paraître en 2017.
- Dainville François de, « L'enseignement des mathématiques dans les Collèges Jésuites de France du XVI^e au XVIII^e siècle », *Revue d'Histoire des Sciences*, 7(1-2), 1954, p. 6-21 et 109-123.
- Dainville François de, « L'enseignement scientifique dans les collèges des jésuites » in R. Taton (dir.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, Hermann, Paris, 1986, chapitre II p. 27-65.
- Delattre Pierre (éd.), *Les établissements des Jésuites en France depuis quatre siècles : répertoire topo-bibliographique*, 5 vols., Enghien, Institut supérieur de théologie, Impr. de De Meester frères, 1948-1957.
- Demoustier Adrien et Julia Dominique (dir.), *Ratio studiorum. Plan raisonné et institution des études dans la Compagnie de Jésus*, Paris, Belin, 1997.
- Depéry Jean-Irénée, *Biographie des hommes célèbres du département de l'Ain : qui se sont distingués par leurs sciences, leurs talents, leurs actions, leurs vertus ou leurs vices*, 2 t. en 1 vol., Bourg, P.-F. Bottier, 1835-1840.
- Dhombres Jean, « L'innovation comme produit captif de la tradition : entre Apollonius et Descartes, une théorie des courbes chez Grégoire de Saint-Vincent », in M. Panza et C. S. Roero (dir.), *Geometria, flussioni e differenziali. Tradizione e innovazione nella matematica del Seicento*, Napoli, La Città del Sole, 1995, p. 7-100.

- Dhombres Jean, « Une mathématique baroque en Europe : réseaux, ambitions et acteurs », in C. Goldstein, J. Gray et J. Ritter (dir.), *L'Europe mathématique. Histoires, Mythes, Identités*, Paris, Éditions de la Maison des sciences de l'homme, 1996, p. 157-184.
- Dibon Paul, « Clerselier, éditeur de la Correspondance de Descartes », in *Regards sur la Hollande du siècle d'Or*, Napoli, Vivarium, 1990, p. 495-521.
- Dix-huitième siècle*, n° 8, numéro spécial, *Les Jésuites*, 1976.
- Dobre Mihnea, « Rohault's Cartesian Physics », in Mihnea Dobre, Tammy Nyden (dir.), *Cartesian Empiricisms*, Dordrecht, Springer, 2013, p. 203-226
- Firode Alain, « Le cartésianisme dans le cours de philosophie au début du XVIIIe siècle », *Histoire de l'éducation*, n°120, 2008, p. 55-76.
- 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.
- Dainville François de, « L'enseignement scientifique dans les Collèges des Jésuites », in René Taton (dir.), *Enseignement et diffusion des sciences au XVIII^e siècle*, Paris, Hermann, 1986 [1^{ère} édition : 1964], p 27-65
- Darrigol Olivier, *A History of Optics from Greek Antiquity to the Nineteenth Century*, Oxford, Oxford University Press, 2012.
- David Louis (dir.), Lyon, *Trois siècles d'histoire lyonnaise. L'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Lyon (1700-2000)*, Lyon, Éditions lyonnaises d'art et d'histoire, 2000.
- Delandine Antoine François, *Manuscrits de la bibliothèque de Lyon*, Paris et Lyon, Renouard etc., 1812, 3 vol.
- Demoment Auguste, « Le Collège de la Trinité, 1565-1762 », in Pierre Delattre (dir.), *Les établissements des jésuites en France depuis quatre siècles*, t. II, Enghien et Wetteren (Belgique), 1953, col. 1502-1567.
- Descotes Dominique, « Aspects littéraires de la Géométrie de Descartes », *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 55(154), 2005, p. 163-191.
- Dumas Jean-Baptiste, *Histoire de l'Académie royale des sciences, belles-lettres et arts de Lyon*, 2 vols., Lyon, Giberton et Brun, 1839.
- Fauque Danielle, « Tourbillons ou attractions, Les physiciens du XVIII^e siècle entre un monde plein et un monde vide », dans Pierre Colin (dir.), *De la nature, De la Physique Classique au Souci Ecologique*, Paris, Beauchesne, 1992, p. 205-235.
- Ferrand Pascale, « 889. Mémoires de Trévoux 1 (1701-1767) », in Jean Sgard (dir.), *Dictionnaire des journaux*, t. 2, Paris, Universitas, 1991, p. 805-816
- Froeschlé-Choppard Marie-Hélène et Froeschlé Michel, « Sciences et Arts » dans les *Mémoires de Trévoux* (1701-1762), *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, 1/2001 (n°48-1), p. 30-49
- Gagneux Bruno, « La règle des signes de Descartes : le long cheminement d'une imprécision », in M. Serfati et D. Descotes (dir.), *Mathématiciens français du XVII^e siècle*, Clermont-Ferrand, PUBP, 2008, p. 129-165.
- Garden Maurice, *Lyon et les Lyonnais au XVIII^e siècle*, Paris, Flammarion, 1975.
- Gingras Yves, « Mathématisation et exclusion : socio-analyse de la formation des cités savantes », dans Jean-Jacques Wunenberger (dir.), *Bachelard et l'épistémologie française*, Paris, PUF, 2003, p. 115-150.
- Gepner Corina, *Le Père Castel et le clavecin oculaire, carrefour de l'esthétique et des savoirs dans la première moitié du XVIII^e siècle*, thèse soutenue à l'Université de Paris III Sorbonne Nouvelle, 1994.
- Griveaud Martial, « Un physicien oublié du XVIII^e siècle : l'abbé Pierre Sigorgne de Rembercourt-aux-Pots (1719-1809) », *Annales de l'Est*, 4^e série, 3^e année, fascicule I, 1935, p. 77-107.
- Guerlac Henri, *Newton on the Continent*, Ithaca et Londres, Cornell University Press, 1981.
- Guicciardini Niccolò, *Isaac Newton on mathematical certainty and method*, Cambridge MA, The MIT Press, 2009.
- Guicciardini Niccolò, « Editing Newton in Geneva and Rome : The Annotated Edition of the Principia by Calandrini, Le Seur and Jacquier », *Annals of science*, vol. 75, Issue 3, 2015, p. 337-380.
- Guilbaud Alexandre, *L'hydrodynamique dans l'œuvre tardive de D'Alembert 1766-1783*, thèse, Université Lyon 1, 2007.
- Guillot Pierre, *Les jésuites et la musique : le Collège de la Trinité à Lyon (1565-1762)*, Mardaga, Liège, 1991.
- Guyot Patrick, *La mise en place d'une nouvelle philosophie de la physique au 18^e siècle*, Thèse, Université de Bourgogne, 2012.
- Guitton Georges, *Les jésuites à Lyon sous Louis XIV & Louis XV. Activité - Luttres - Suppression (1640-1768)*, Lyon, Procure, 1953.
- Hallyn Fernand, *Descartes. Dissimulation et ironie*, Genève, Droz, 2006.
- Hamy Alfred, *Province de Lyon (1582-1762)*, Paris, Honoré Champion, 1900.

- Heimann Peter M., « Ether and imponderables », in G. N. Cantor et M. J. S. Hodge (dir.), *Conceptions of ether. Studies in the history of ether theories 1740-1900*, Cambridge, Cambridge University Press, 1981, p. 61-83.
- Heilbron John L., *Electricity in the 17th & 18th Centuries. A Study of Early Modern Physics*, Mineola, New York, Dover Publications, 1999 (1^{ère} éd. en 1979).
- Home Rod W., « The Notion of Experimental Physics in Early Eighteenth-Century France », in Joseph C. Pitt (dir.), *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.
- Firorde Alain, *La dynamique de D'Alembert*, Paris, Montréal, Vrin, Bellarmin, 2001.
- Gabbey Alan, « Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics », *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 2 (1971-1972), p. 1-67.
- Hertz Bénédicte, *Le Grand Motet dans les pratiques musicales lyonnaises (1713-1773)*, thèse, Université Lyon 2, 2010.
- Jesseph Douglas, « Descartes, Pascal, and the Epistemology of Mathematics : The case of the Cycloid », *Perspectives on Science*, 15(4), 2007, p. 410-433.
- Joly Bernard, « Les théories du feu de Voltaire et madame du Châtelet », in F. de Gandt (dir.), *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. Savoirs et textes*, 8, 2008, <https://methodos.revues.org>.
- Joly Bernard, *La chimie de Descartes*, Paris, Vrin, 2011.
- Köllving Ulla, Courcelle Olivier (dir.), *Emilie du Châtelet, éclairages et documents nouveaux*, Ferney-Voltaire, EIRDS, 2008.
- Lacoarret Marie et Mme Ter-Menassian, « Les Universités », in René Taton (dir.), *Enseignement et diffusion des sciences au XVIII^{ème} siècle*, Paris, Hermann, 1986 [1^{ère} éd.: 1964], p. 125-168.
- Laverdet, Auguste (éd.), *Correspondance entre Boileau Despréaux et Brossette*, Paris, J. Techener, 1858.
- Lavezzi Elisabeth, « Le clavecin irisé. Le clavecin oculaire du père Castel et les couleurs de l'iris de Cureau de la Chambre », *Revue d'histoire littéraire de la France*, vol. 101, 2/2001, p. 327-339.
- Le Grys Norgate Gerald, « Henry Pemberton », in *Dictionary of National Biography*, 1885-1900, vol. 44, p. 280-281.
- Le Ru Véronique, *La crise de la substance et de la causalité. Des petits écarts cartésiens au grand écart occasionnaliste*, Paris, CNRS éditions, 2003.
- Lenardon Dante, *Index du Journal de Trévoux (1701-1767)*, Genève, Slatkine, 1986.
- Le Lay Colette, Rémy Frédérique, « La Dissertation sur la glace (1749) », *Revue d'Histoire des Sciences*, tome 68-2, 2015, p. 359-374
- Leroy Maxime, *Descartes, le philosophe au masque*, 2 vols., Paris, Rieder, 1929.
- Maronne Sébastien, « Sur une lettre de Descartes qu'on dit de 1639 », *Revue d'Histoire des Mathématiques*, 12(2), 2006, p. 199-248.
- Maronne Sébastien, *La théorie des courbes et des équations dans la Géométrie cartésienne : 1637-1661*. Thèse de doctorat, Paris, Université Paris 7, 2007.
- Maronne Sébastien, « Pascal versus Descartes on solution of geometrical problems and the Sluse-Pascal correspondence », *Early Science and Medicine*, 15(4-5), 2010, p. 537-565.
- 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.
- Mondésert Claude, « Jésuites à l'Académie », *Mémoires ASBLA*, 1987, p. 27-34.
- Mouy Paul, *Le développement de la physique cartésienne*, Paris, Vrin, 1934.
- Mulard Pascal, *Aimé-Henri Paulian (1722-1802) et sa physique « newto-cartésienne »*, *L'optique newtonienne revisitée*, Thèse, Université de Lille 1, 2015.
- Naux Charles, « L'Opus Geometricum de Grégoire de Saint-Vincent », *Revue d'Histoire des Sciences*, 15(2), 1962, p. 93-104.
- Neto José R. Maia, « Huet sceptique cartésien », *Philosophiques*, 35(1), 2008, p. 223-239.

- Otegem Matthijs van, *A Bibliography of the Works of Descartes (1637-1704)*, 2 vols., Utrecht, The Department of Philosophy of Utrecht, Quaestiones Infinitae, 2002.
- Paillard Philippe, *La Cour des monnaies de Lyon & la circulation des métaux précieux dans la France du Sud-Est sous les règnes de Louis XIV et Louis XV*, Lyon, Jacques André, 2012, 323 p.
- Peiffer Jeanne, « Nicolas, application de l'algebre a la geometrie, texte établi, présenté et annoté par Jeanne Peiffer », in R. Minuti (dir.), *Œuvres complètes de Montesquieu*, vol. 17, Extraits et notes de lecture II, Paris, ENS Éditions-Classiques Garnier, 2017, p. 107–184.
- Perru Olivier, *Hommes d'Eglise et science au XVIIIe siècle : vers une harmonie entre raison, nature et création*, Paris, Vrin, 2012.
- Picot Joseph, *Les jésuites à Lyon de 1604 à 1762*, Lyon, Editions aux Arts, 1995.
- Poidebard William (éd.), *Correspondance littéraire et anecdotique entre Monsieur de Saint Fonds et le Président Dugas, membres de l'Académie de Lyon, 1711-1739*, publiée et annotée par William Poidebard, Lyon, Mathieu Paquet, 1900.
- Principe Lawrence M., « Wilhelm Homberg : Chymical Corpuscularianism and Chrysopœia in the Early Eighteenth Century », in C. Lüthy, J. E. Murdoch et W. R. Newman (dir.), *Late Medieval and Early Modern Corpuscular Matter Theories*, Leiden, Brill, 2001, p. 535-556.
- Principe Lawrence M. (dir.), *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>.
- Reynaud Denis, « Mathon de la Cour Jacques (1712-1777) », in Dominique Saint-Pierre (dir.), *Dictionnaire historique des académiciens de Lyon (1700-2016)*, Lyon, ASBLA, 2017.
- Reynaud Denis et Terao Yoshiko, « Deux lettres du Père Castel à l'Académie de Lyon », *Mémoires ASBLA*, pour 2012, 4e série, t. 12, p. 190-195
- Richard Jean-Olivier, *The art of making rain and fair weather: the life and world system of Louis-Bertrand Castel, sj (1688-1757)*, Johns Hopkins University, Baltimore (Maryland), december 2015
- Robinet André, « Le groupe malebranchiste introducteur du calcul infinitésimal en France », *Revue d'histoire des sciences*, 13, 1960, p. 287-308
- Robinet André, *Malebranche de l'académie des sciences*, Paris, Vrin, 1970.
- Rommevaux Sabine, *Clavius, une clé pour Euclide au XVIe siècle*, Paris, Vrin, Mathesis, 2005.
- Roux Sophie, « Le scepticisme et les hypothèses de la physique », *Revue de synthèse*, Vol. 119, Issue2, 1998, p. 211-255.
- Roux Sophie, « La philosophie naturelle à l'époque de Le Nôtre, Remarques sur la philosophie mécanique et sur le cartésianisme », dans Georges Farhat (dir.), *Fragments d'un paysage culturel, André Le Nôtre, Institutions, arts, sciences et techniques*, Sceaux, Musée de l'Île de France, 2006, p. 98-111
- Roveda Lyndia, « Des épines aux fleurs des mathématiques : l'enseignement des sciences chez Bernard Lamy », *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, vol. 55, n°154, 2005, p. 193-202.
- Sainsot Alain, *Catalogue des manuscrits de la Société d'agriculture de Lyon*, Mémoire ENSSIB, 1985 (en ligne).
- Saint-Pierre Dominique (dir.), *Dictionnaire historique des académiciens de Lyon (1700-2016)*, Lyon, ASBLA, 2017.
- Schmit Christophe, « Force d'inertie et causalité », *Archives internationales d'histoire des sciences*, vol. 59, n° 162, 2009, p. 97-155.
- Schmit Christophe, « Les dynamiques de Jean-Jacques Dortous de Mairan », *Revue d'histoire des sciences*, t. 68-2, 2015, p. 281-309
- Schwartz Claire, *Malebranche. Mathématiques et philosophie*, Paris, Presses universitaires de la Sorbonne, à paraître.
- Serfati Michel, « Constructivisme et obscurités dans la Géométrie de Descartes, quelques remarques philosophiques », in M. Serfati et D. Descotes (dir.), *Mathématiciens français du XVIIe siècle*, Clermont-Ferrand, PUBP, 2008, p. 11-44.
- Serfati Michel et Descotes Dominique (dir.), *Mathématiciens français du XVIIe siècle*, Clermont-Ferrand, PUBP, 2008.
- Shank John Bennett, *The Newton Wars and the beginning of the French Enlightenment*, Chicago, University of Chicago Press, 2008.
- Sommervogel Carlos, *Bibliothèque de la Compagnie de Jésus – bibliographie par les pères Augustin et Aloys de Backer, histoire par le père Auguste Carayon*, 12 vols., Héverlé-Louvain, Ed. de la Bibliothèque S.J., 1960. Reprod. anastatique de l'éd. de Bruxelles, O. Schepens ; Paris, A. Picard, 1890-1900 pour les tomes I-IX, de l'éd. de Paris, A. Picard et fils, 1909 pour le tome X, et de l'éd. de Toulouse, 1911-1930, pour le tome XII.

- Sortais Gaston, « Chapitre I : le cartésianisme chez les jésuites français au XVII^e et au XVIII^e siècles », *Archives de Philosophie*, 6(3), 1929, p. 1-10.
- Spallanzani Mariafranca, *L'arbre et le labyrinthe. Descartes selon l'ordre des lumières*, Paris, Champion, Les Dix-huitièmes siècles, 2009.
- Taton, René (dir.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, Paris, Hermann, 1986.
- Terao Yoshiko, *Le fixe et le fugitif : Tiphaigne, Diderot, Mical, Castel et leurs machines audiovisuelles*, thèse, Université Lyon 2, 2016.
- Trénard Louis, *Lyon de l'Encyclopédie au préromantisme*, 2 vol., thèse, Imprimerie Allier, 1958.
- Vallas Léon, *La Musique à l'Académie de Lyon au dix-huitième siècle*, Lyon, Revue musicale de Lyon, 1908.
- Van Damme Stéphane, *Savoirs, culture écrite et sociabilité urbaine : l'action des enseignants jésuite du collège de la Trinité de Lyon (1630-1730)*, thèse, Paris 1, 2000.
- Van Damme Stéphane, « Sociabilité et culture urbaines : le rôle du collège de la Trinité à Lyon (1640-1730) », *Histoire de l'éducation*, (90), mai 2011, p. 79-100.
- Van Damme Stéphane, *Descartes. Essai d'une histoire culturelle d'une grandeur philosophique*, Paris, Presses de Sciences Po, 2002.
- Van Damme Stéphane, « Les jésuites lyonnais et l'espace européen de la presse savante (1690-1714) », *Dix-septième siècle*, (228-3), 2005a, p. 499-511.
- Van Damme Stéphane, *Le Temple de la Sagesse: savoirs, écriture et sociabilité urbaine: Lyon, XVII^e-XVIII^e siècle*, Paris, EHESS, 2005b
- Vregille Paul de, « L'Observatoire de la Trinité de Lyon, 1565-1794 », *Relations d'Orient*, avril 1906, p. 51-71.
- Vuillemin Jules, *Mathématiques et Métaphysique chez Descartes*, Paris, PUF, Epiméthée, 1960.
- 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.

Sites

- ENCCRE : <http://enccre.academie-sciences.fr/>
Gazetier universel : <http://gazetier-universel.gazettes18e.fr/>

Tables des matières

Avant-propos

Préface

Introduction

1. *Le paysage lyonnais*
 - 1.1 Le collège de la Trinité
 - 1.2 Les deux académies de Lyon et leur fusion
 - L'Académie des sciences et belles-lettres*
 - L'Académie des beaux-arts*
 - Les relations entre les deux académies*
 - La fusion de 1758*
 - Commissions et tributs des académiciens*
2. *Recherches historiographiques*
 - Le corpus examiné*
 - Les tourbillons de Descartes et les critiques de Newton*
 - 2.1 Chronologies et périodisations : Brunet et Aïton
 - 2.2 La thèse du conflit « cartésiens »-« newtoniens »
 - 2.3 Relectures de la thèse du conflit
 - 2.4 Descartes et Newton dans l'enseignement de la physique
 - L'aristotélisme jusqu'à la fin du XVII^e siècle*
 - Le mécanisme cartésien*
 - La place des théories de Newton dans l'enseignement*
3. *L'usage des termes « cartésiens » et « newtoniens » dans le premier XVIII^e siècle*
 - 3.1 Quelques définitions dans l'historiographie
 - 3.2 Dictionnaires et encyclopédies
 - 3.3 Des principes et des méthodes distincts
 - 3.3.1 Plein-impulsion *versus* vide-attraction
 - 3.3.2 Physique causale *versus* physique expérimentale et géométrique
 - 3.4 Réformer Descartes
 - 3.4.1 Le système de Malebranche
 - 3.4.2 Les « cartésianismes anciens et modernes »
4. *Les prises de position des savants lyonnais*
 - 4.1 Avant 1736
 - 4.2 Période 1736-1744
 - Les ecclésiastiques élus à l'ABA*
 - Les P. Duclos et Morand*
 - Charles Cheynet*
 - Les associés de l'ABA*
 - L'abbé Cayer*
 - Discussions à l'ASBL jusqu'en 1739*
 - Le P. Béraud*
 - Le renouveau des débats à l'ASBL après 1740*
 - Castel, Mathon de la Cour et les « systèmes »*
 - 4.3 Après 1744
 - A l'ABA*
 - A l'ASBL*

Chapitre I

Les Commentaires sur la Géométrie de M. Descartes (1730) de Claude Rabuel

Sébastien MARONNE

1. *Introduction*
2. *Quelques éléments biographiques sur Rabuel*
3. *Les Commentaires sur la Géométrie de 1730*
 - 3.1 Un éloge de Descartes géomètre
 - 3.2 Un contexte d'enseignement
 - 3.3 Les omissions de Descartes et les commentaires de Rabuel
 - 3.4 La structure de *La Géométrie* selon Rabuel
 - 3.5 Les figures de Rabuel
4. *Rabuel et les géomètres anciens*
5. *Rabuel et le corpus cartésien*
 - 5.1 Les éditions de *La Géométrie*
 - 5.2 Les Lettres de M. Descartes
6. *Rabuel et les géomètres modernes*
 - 6.1 Courbes géométriques et courbes mécaniques
 - 6.2 La question de l'infini
 - 6.3 La simplicité des courbes et la construction des équations
7. *Quelle postérité pour Rabuel ?*
 - 7.1 Rabuel et Schooten
 - 7.2 Les jésuites
8. *Conclusion*

Chapitre II

Le Lyonnais Philippe Villemot, fondateur d'une « astronomie cartésienne »

Fabrice FERLIN

1. *Introduction*
2. *Préliminaires*
 - 2.1 Descartes et les mouvements planétaires
 - 2.2 Newton
3. *Villemot et son « Nouveau Système »*
4. *La Première partie du « Nouveau Système »*
 - 4.1 Préliminaires
 - 4.2 L'équilibre des cieux
 - 4.3 Le Soleil
 - 4.4 Le ciel des comètes
5. *Quelques autres aspects de la théorie de Villemot*
 - 5.1 Explication du mouvement diurne par Villemot
 - 5.2 Explication de la pesanteur par Villemot
6. *Conclusion*

Chapitre III

Les quatre prix académiques remportés par Lozeran du Fesc

Christophe SCHMIT

1. *Introduction*
2. *Lozeran du Fesc et l'Académie des beaux-arts*
3. *La dureté, la fluidité et la mollesse de la matière (1735)*
 - 3.1 La matière sans force et l'occasionalisme
 - 3.2 Les explications de la dureté, de la fluidité et de la « mollesse »
4. *La nature l'air (1733)*
 - 4.1 Les critiques à l'encontre de Descartes et des « Cartésiens »
 - 4.2 L'air selon Lozeran du Fesc
5. *La nature du feu et sa propagation (1738)*
 - 5.1 La nature du feu
 - 5.2 La propagation du feu

6. *La formation des éclairs et du tonnerre (1726)*

6.1 L'analogie avec la poudre

6.2 L'explication du tonnerre

7. *Conclusion*

Chapitre IV

Un physicien tourbillonnaire à Lyon : Henri Marchand et la cause de l'inclinaison de l'orbite des planètes

Hugues CHABOT, Fabrice FERLIN

1. *Introduction*

Marchand et les prix de l'Académie de Paris

Le manuscrit

2. *La cause physique de l'inclinaison des orbites*

2.1 L'équilibre des couches du tourbillon solaire

2.2 Les positions des planètes dans le tourbillon solaire

2.3 Les orbites planétaires

3. *L'inégalité des inclinaisons des orbites des planètes*

3.1 La cause de l'inclinaison

3.2 Les différentes inclinaisons

3.3 La théorie physique et les observations astronomiques

4. *Conclusion*

Chapitre V

Jacques Mathon de la Cour, le newtonien a posteriori de Lyon

Pierre CRÉPEL

1. *Introduction : biographie de Jacques Mathon de la Cour (1712-1777)*

2. *Les « tributs annuels » de Mathon*

3. *Comment le newtonianisme est-il venu à Mathon ?*

4. *Les premiers exposés newtoniens explicites*

L'introduction à la physique de Newton

Les forces centrales des axes dont les apsides ne sont pas fixes

La critique du P. Castel

5. *Mathématiques, mécanique théorique et mécanique pratique*

6. *Les Nouveaux Elémens de dynamique et de mécanique de 1763*

Les préfaces

Le corps du livre

7. *Les dernières interventions*

8. *Conclusion : Mathon et sa conception de l'activité scientifique*

Chapitre VI

Les dissertations sur la calcination, le magnétisme et l'électricité du père Béraud (1747, 1748, 1755)

Christophe SCHMIT

1. *Introduction*

2. *Quelques éléments biographiques*

3. *Béraud et la calcination des métaux*

3.1 La solution proposée par Privat de Molières

3.2 L'explication de Béraud dans le prix de 1747

4. *Les phénomènes magnétiques dans le prix de 1748*

4.1 Les critiques contre Descartes et les « cartésiens » : Molières et Béraud

4.2 Le magnétisme chez Molières

4.3 Sur l'usage des atmosphères

4.4 Béraud et la densité des petits tourbillons magnétiques

5. *L'électricité dans le prix de 1748 et le mémoire de 1755*

5.1 L'atmosphère électrique

5.2 Mécanismes de phénomènes électriques

5.3 Béraud et les théories électriques de Privat de Molières, de Jallabert et de Nollet

6. *Conclusion*

Chapitre VII

Tolomas traducteur de Pemberton (1747-1754)

Pierre CRÉPEL

1. *Introduction*

2. *Le P. Tolomas (1706-1762)*

3. *Ce qu'on connaît des Principia et de l'Opticks en 1747*

4. *Henry Pemberton (1694-1771)*

5. *A View of Isaac Newton's Philosophy*

6. *Le projet de Tolomas*

7. *La traduction*

8. *Conclusion*

Conclusion

Une vie académique dans l'actualité des débats

La production scientifique

« Cartésiens »-« Newtoniens », quels enseignements ?

Annexes

Index des noms de personnes

Table des illustrations

Bibliographie