



HAL
open science

Les dissertations sur la calcination, le magnétisme et l'électricité du père Béraud (1747, 1748, 1755)

Christophe Schmit

► **To cite this version:**

Christophe Schmit. Les dissertations sur la calcination, le magnétisme et l'électricité du père Béraud (1747, 1748, 1755). P. Crépel, C. Schmit. Autour de Descartes et Newton. Le paysage scientifique lyonnais dans le premier XVIIIe siècle, Hermann, pp.273-322, 2017. hal-02881473

HAL Id: hal-02881473

<https://hal.science/hal-02881473>

Submitted on 25 Jun 2020

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

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

Chapitre VI

Les dissertations sur la calcination, le magnétisme et l'électricité du père Béraud (1747, 1748, 1755)

Christophe Schmit

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 venants 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 essentiellement, 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

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'empreserent 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.

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 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 4 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, ainsi de 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

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-différents 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 « Mr. 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 Duclou 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 ; Homborg, *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.

interprétations : « la pesanteur absolue d'un Corps ne peut augmenter que par l'acquisition d'une nouvelle matière : Or, d'où est-ce que le Plomb dans sa calcination peut tirer cette nouvelle matière ? »⁷ 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 faisoit aucune résistance ; ce qui l'a porté à conclure suivant ses principes qu'il étoit vuide, qu'il étoit destitué de toute matière » et donc nécessairement de 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

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 ainsi qu'il s'agit bien de celui-ci ; ainsi, la dissolution de « corps pierreux ou salins » par l'eau « échauffée » celle-ci, preuve qu'il y a du feu. Ce rapprochement entre les effets normalement dévolus au feu et ce qui s'observe pour les corps calcinés suggère « d'attribuer ces effets aux parties mêmes du feu qui ont été retenues dans ces corps », *ibid.*, p. 404-405. *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.

lumière est plus vive, plus dense si l'on veut » au niveau du foyer d'une lentille ne provient pas d'une plus grande compression ou plus grande quantité de matière subtile, mais de vibrations plus fréquentes et transmises simultanément en plus grand nombre (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 forets 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. 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 malgré tout 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] soufres & 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 soufres 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 et 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 règles 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 léger, 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 réciproquement 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 ou « 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 » comme celle des 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 Hartsoeker (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 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 sienne 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 Hartsoeker, voir *Sur la nitrification 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'Aiman » 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 tournez en coquille d'une façon toute contraire », à savoir suivant « l'écrouë 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 interieure », 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 entourées d'un petit tourbillon : les « parties » de la matière subtile « pareilles à celles du premier élément de Descartes, ou à celles dont les petits tourbillons du P. Malebranche sont formés » traversent les pores de ces petits corps et, « parce que tout est plein », elles forment autour de chacun « un petit tourbillon semblable à celui que l'on conçoit 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 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'*Optique* 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 étheré* 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 espèce 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 Atmosphæris 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 » 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.

⁶⁰ Newton, *Traité d'optique*, p. 493-497.

⁶¹ « Atmosphère », *Encyclopédie*, t. I (1751), p. 822b.

⁶² 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'espèce d'atmosphère que ce fluide forme autour d'eux, qui repousse les uns & qui s'accroche aux autres, quelque hypothétiques qu'ils paroissent, ne doivent point surprendre, & sont admis par les Physiciens les plus habiles, & sur-tout par ceux que des expériences aussi nombreuses que délicates ont rendu célèbres », en l'occurrence Newton et Boyle. 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'espèce d'atmosphère » formée autour des parties solides de ces corps. Voir Boyle, *Exercitationes de Atmosphæris*.

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 » et renvoie alors à son Mémoire que nous évoquons ci-dessous publié dans le recueil de l'Académie des sciences pour l'année 1738. 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 Molières 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 Molières⁶³.

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 Molières, la matière 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 Molières 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 « matière 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 pôle boreal qui regarde le Nord de la Terre, il a son pôle austral qui regarde le Sud. Voilà la matière magnétique, dont chaque petite partie a sa direction du Nord au Sud (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 matière [subtile], disposées en files parallèles entr'elles ; ce qui forme dans l'intérieur de l'Aiman des conduits imperceptibles, longs, étroits & parallèles à son axe » (p. 10). D'autre part, l'aimant doit renfermer dans ses pores

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 matières 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.

et son environnement immédiat « moins de matière étherée qu'un pareil volume de fluide environnant » à savoir que l'air (p. 6). De manière générale, Béraud suppose que

parmi les Corps durs & solides qui sont comme flotans au milieu de l'Ether, il y en a qui contiennent dans leurs pores plus de fluide subtile qu'un pareil volume d'air environnant ; d'autres qui en contiennent moins ; d'autres enfin qui en contiennent autant ou presque autant (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'Aïman 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'Aïman 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 Aïman 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

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 faible, & 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

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, *ibid.*, p. 15.

« moins de matière étherée qu'un égal volume d'air », tout en possédant une atmosphère « moins dense » que l'aimant : par cette « construction intérieure », le fer placé dans « l'Atmosphère magnétique » de l'aimant « bien loin de contribuer à la dilatation des tourbillons qui composent cette Atmosphère, il en augmente la densité, il doit donc être poussé par ces petits tourbillons dans la même direction que se fait la pression, c'est-à-dire, de la circonférence au centre de l'Aiman » ; les « deux Atmosphères homologènes (sic) » se confondent et le fer est attiré selon le même mécanisme que celui décrit pour deux aimants (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 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 Atmosphère », moins dense que celle de l'aimant et trop faible pour produire à elle seule les phénomènes magnétiques. Le fer possède des pores plus larges que l'aimant et ses « parties insensibles » où sont ménagées ces « conduits » s'avèrent plus « souples », plus « flexibles » : ces conduits ne forment pas des « files » aussi parallèles entre elles et « aussi déterminée & aussi fixe » que pour l'aimant ce qui ne donne pas au fer la propriété de prendre spontanément la direction des méridiens. Lors de l'aimantation du fer, les tourbillons de l'atmosphère de l'aimant se « jettent avec effort » dans les pores du métal et les disposent « suivant leur direction du Nord au Sud » ; ainsi peut se former une aiguille 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 appel à la notion d'homogénéité qui implique une circulation des tourbillons dans un même sens. Béraud propose l'analogie suivante : la pression subie par deux plaques de

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.

marbres posées l'une sur l'autre dans une pompe à vide vient de l'éther (et non de l'air) « dont la densité & conséquemment la force de compression est augmentée par la quantité de la même matière qui est chassée d'entre les deux superficies des marbres. C'est donc du ressort de l'Ether que dépend cet effet [l'attraction de l'aimant], c'est le ressort de la même matière qui pousse le fer contre l'Aiman, en cette façon » (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).

⁷⁷ « L'Aiman attire le fer par le même mécanisme qui joint deux Aimans ».

Contrairement aux aimants, pour produire leurs effets les corps électriques nécessitent un frottement : ils comprennent des « parties insensibles » assez « roides » pour « ébranler » l'éther et lui communiquer un « mouvement de vibration » ; la « vertu électrique » s'identifie alors à la matière subtile agitée par les « secousses » et le « trémoussement » des parties rigides (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

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 résultent de cette matière, d'autre part parce que leurs parties internes sont cassantes, friables, « roides ». Ainsi le souffre s'avère moins électrique que le verre puisque ses « molécules sont moins roides & plus liées ensemble ». Si les métaux aussi contiennent beaucoup d'éther, ils ne s'électrisent pas par frottements : leur « ductilité » montre qu'ils se composent de parties « souples, flexibles, liées ensemble » et donc peu propres à recevoir le « trémoussement » nécessairement à la mise en vibration de l'éther. Aussi n'acquièrent-ils l'électricité que par « communication » : l'éther d'un corps déjà électrisé vient directement donner le mouvement nécessaire à celui dans le métal.

⁷⁹ Béraud cite l'« *Essai 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, *Experiences 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.

proposé paraît aussi proche de celui de Jallabert ; nous revenons sur Nollet et Jallabert dans la dernière partie de cette étude.

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 alors « 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'Electricité*, 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

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 « large » 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.

d'électricité différents » ; « voilà donc [...] deux électricités d'une nature toute différente, savoir, 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 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'Électricité*, p. 154-157 et p. 117-119 ; Nollet, *Conjectures*, p. 145-146 ; Jallabert, *Expériences sur l'Électricité*, 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'Électricité*, 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'Électricité*, 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'Électricité*, 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'Électricité*, p. 157-159.

Selon Béraud,

la matière électrique ou la matière éthérée n'est pas le feu ; mais elle en est le principe le plus actif, elle en est l'ame & la cause immédiate de l'inflammation. Le P. Lozeran du Fech, de la Compagnie de Jesus, l'a parfaitement bien prouvé dans sa Dissertation sur la Propagation du Feu. Selon cet Auteur, le feu n'est pas un Element ; mais un mixte composé de sels, d'huiles, d'air, de matière éthérée. Ce système est simple, conforme à l'expérience & sur-tout il s'accorde parfaitement avec les Phénomènes 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 éthérée qui vont l'un contre l'autre, qui se heurtent avec violence » : dans ce choc les petits tourbillons augmentent « de vitesse & de force centrifuge » ce qui communique un mouvement rapide aux sels, aux souffres et « parties aériennes » ; le « bouillonnement » dans toute cette matière « fermente » jusqu'à ce que son « ressort » devienne supérieur à la résistance de l'air « qui lui sert de vase », 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

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.

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 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 aussi-tôt s'étendre & passer dans les pores de l'air, communiquer leurs mouvemens à celles qui les suivent, & former autour de ce corps une 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

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

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 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.

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 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 rapprocher 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.

¹⁰¹ Nollet, *Essai sur l'Électricité*, 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.

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 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 effluents de ces matières électrisées [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 effluents » 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 témoignent 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 qui reconduit 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

¹⁰³ Nollet, *Essai sur l'Électricité*, 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 ».

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.

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 de s'inscrire contre certains préceptes préconisés par Nollet. Comme souligné, tout en acceptant le 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 ».