

Nacelles

ISSN : 2552-6987

13 | 2022

L'engendrement du monde. Circulation des modalités génésiques du système solaire du XVIIe au XIXe siècle

Isaac Newton, la gravitation universelle et la mécanique céleste

Révolution et nouveau paradigme scientifiques (approches historiennes et historiographiques des enjeux et impacts dans l'Europe des Lumières)

Jean-Christophe Sanchez

 <http://interfas.univ-tlse2.fr/nacelles/1853>

Référence électronique

Jean-Christophe Sanchez, « Isaac Newton, la gravitation universelle et la mécanique céleste », *Nacelles* [En ligne], 13 | 2022, mis en ligne le 30 juin 2023, consulté le 02 août 2023. URL : <http://interfas.univ-tlse2.fr/nacelles/1853>

Isaac Newton, la gravitation universelle et la mécanique céleste

Révolution et nouveau paradigme scientifiques (approches historiennes et historiographiques des enjeux et impacts dans l'Europe des Lumières)

Jean-Christophe Sanchez

PLAN

1. Introduction
2. Élaboration et conceptualisation (1661-1687)
 - 2.1. 1666 : « Il doit y avoir un pouvoir d'attraction dans la matière »
 - 2.2. Hooke et Newton : émergence et élaboration du concept d'attraction entre simultanéité et rivalité
 - 2.3. La trajectoire des comètes ?
3. Publication des *Principia* et diffusion du newtonianisme
 - 3.1. La première édition des *Principia* (1687)
 - 3.2. Les éditions successives (1713 et 1726)
 - 3.2. Diffusion, traduction et vulgarisation des *Principia* dans le monde européen
4. Confirmation et succès d'une révolution scientifique
 - 4.1. La forme de la Terre : les expéditions du Pérou (1735-1745) et de Laponie (1736-1737)
 - 4.2. Le calcul du retour de la comète de Halley
 - 4.3. Le paradigme newtonien et la « science normale »
5. Conclusion

TEXTE

1. Introduction

- 1 La gravitation – selon la terminologie actuelle – est une des quatre forces fondamentales du « Modèle standard »¹, élaboré dans les années 1970, trois siècles après la publication en 1687 des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* d'Isaac Newton (1643-1727)². Son contenu s'inscrit dans un *continuum* de pensée, mais constitue aussi une rupture épistémologique. Il s'agit d'un moment majeur dont il n'est pas possible dans un article de le traiter avec exhaustivité,

mais que nous tenterons de cerner dans une double perspective, historique et historiographique, en dégagant les points saillants et spécifiques à l'origine d'un processus qui révolutionne une philosophie naturelle³ dont les bases du paradigme aristotélico-ptoléméen physico-cosmique sont ébranlées par la conceptualisation et la diffusion d'un cosmos héliocentrique (*De revolutionibus orbium cœlestium*, 1543⁴), la formulation du principe d'équivalence et la mathématisation des lois de la nature par Galilée⁵, la conceptualisation d'un système solaire où la Lune et les planètes ne sont plus et pas enchâssées dans des orbites de cristal (observations de la comète de 1577 par Tycho Brahe et Thaddæus Hagecius⁶), et où, d'autre part, les corps se meuvent dans des orbites elliptiques avec une révolution périodique (lois de Kepler 1609-1619⁷). La philosophie naturelle de la première moitié du xvii^e siècle est aussi profondément renouvelée par les contributions de Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), notamment sur les mouvements des corps célestes⁸ et de René Descartes (1596-1650) qui conçoit un système solaire mécaniste rempli de tourbillons d'éther où les corps célestes sont portés et emportés⁹.

- 2 La physique newtonienne [cinématique, statique et dynamique], de nos jours la mécanique classique – force de gravitation/attraction universelle, et mécanique céleste/lois du mouvement¹⁰ – s'élabore dans le contexte intellectuel de la seconde moitié du xvii^e et de la première du siècle des Lumières, période où se met en place et se développe un processus de transition et de rupture à la fois avec un socle de connaissances qui, à travers des sauts épistémologiques, constitue un nouveau paradigme¹¹. Ceci se fait concomitamment avec un processus de révolution scientifique et qui, au final, aboutit à l'émergence d'une nouvelle science normale¹². L'apport de Newton dans les connaissances et conceptions de notre système solaire, à partir de la décennie 1680, constitue un moment majeur par la formalisation de la gravitation comme une force d'attraction qui agit à distance entre les corps indépendamment de leur nature. Mais cette nouvelle physique énoncée par Newton est source de débats et de conflits en Europe, et tout particulièrement en France¹³, entre les partisans du newtonianisme, du cartésianisme et du leibnizianisme, notamment quant à la nature de la gravitation et à propos de l'éther¹⁴.

2. Élaboration et conceptualisation (1661-1687)

- 3 Après avoir fréquenté la *grammar school* de Grantham, c'est au *Trinity College*, à Cambridge, qu'à partir de 1661 Isaac Newton poursuit ses études et est formé à la philosophie naturelle. L'enseignement dispensé au sein de cette matrice intellectuelle repose sur la rhétorique, la logique, l'éthique et la physique encore très largement inscrites dans le paradigme aristotélicien. À ces savoirs s'ajoutent les lectures faites par Newton tout particulièrement des œuvres de Descartes et des mathématiciens François Viète (1540-1603) et John Wallis (1616-1703). Parmi ses professeurs, signalons le mathématicien Isaac Barrow (1630-1677) qui occupe une place essentielle dans la formation intellectuelle de Newton et à qui il succède comme professeur de mathématiques en 1669. En janvier 1665 Newton obtient le titre de bachelier ès arts de l'université de Cambridge, ville que menace la grande peste et qu'il quitte pour regagner Woolsthorpe, où se trouve la maison de naissance de Newton.

2.1. 1666 : « Il doit y avoir un pouvoir d'attraction dans la matière »

- 4 L'année 1666 est celle du désormais célèbre épisode de la pomme que relate William Stukeley dans *Memoirs of Sir Newton's Life* sur la base d'un entretien le 15 avril 1726 :

Après le dîner, le temps étant chaud, nous sommes allés dans le jardin et avons bu du thé à l'ombre de quelques pommiers, seulement lui et moi. Parmi d'autres discours, m'a-t-il dit, il était juste dans la même situation que lorsque jadis, la notion de gravitation lui était venue à l'esprit. « Pourquoi cette pomme devrait-elle toujours descendre perpendiculairement au sol ? », se dit-il ; et à la faveur de la chute d'une pomme, alors qu'il était assis dans une humeur contemplative : « Pourquoi ne devrait-elle pas aller latéralement ou vers le haut ? Mais constamment au centre de la terre ? Assurément, la raison en est que la terre l'attire. Il doit y avoir un pouvoir d'attraction dans la matière et la somme du pouvoir d'attraction de la terre doit être au centre de celle-ci, pas de n'importe quel côté de la terre.

Donc cette pomme tombe perpendiculairement, ou vers le centre. Si la matière attire ainsi la matière ; elle doit être proportionnelle à sa quantité. Donc la pomme attire la terre, ainsi que la terre attire la pomme. »

Qu'il existe une force [*power*] comme celle que nous appelons ici la gravité qui s'étend à travers l'univers et ainsi, par étapes, il a commencé à appliquer cette propriété de la gravitation au mouvement de la terre et des corps célestes : à considérer leurs distances, leurs grandeurs, leurs révolutions périodiques ; à découvrir que cette propriété, conjuguée à un mouvement progressif qui leur était imposé au début, résolvait parfaitement leurs cours circulaires ; empêchait les planètes de tomber les unes sur les autres ou de tomber toutes ensemble dans un centre et ainsi il a dévoilé l'Univers. Ce fut la naissance de ces découvertes étonnantes, par lesquelles il a construit la philosophie sur une base solide, au grand étonnement de toute l'Europe¹⁵.

- 5 Quoi qu'il en soit de la réalité historique de cet événement, l'année 1666 est considérée depuis le poème de John Dryden comme l'*annus mirabilis* dans la vie scientifique de Newton¹⁶. Elle constitue un tournant épistémologique dans la conceptualisation de la force de gravitation ou d'attraction universelle – universelle car elle s'applique à la totalité des éléments qui composent la Terre (monde terrestre sublunaire de la physique d'Aristote) et s'étend à l'ensemble de l'univers ou cosmos (monde supralunaire aristotélicien) – ainsi que l'émergence d'une mécanique céleste – le ciel est régi par des corps en mouvement¹⁷.

2.2. Hooke et Newton : émergence et élaboration du concept d'attraction entre simultanéité et rivalité

- 6 Si les trois lois de Kepler décrivent les caractéristiques des mouvements des planètes dans un système héliocentrique, outre Newton, cette question intéresse d'autres savants et, entre autres membres de la *Royal Society*, Christopher Wren (1632-1723)¹⁸, Edmund Halley (1656-1742) et Robert Hooke (1635-1703)¹⁹. Ce dernier écrit, en 1666, un article « concernant l'inflexion d'un mouvement direct dans une courbe par un principe attractif »²⁰. Il se demande « pourquoi les

planètes se déplacent autour du Soleil comme l'a supposé Copernic, et non pas en ligne droite comme tous les corps qui ont reçu une impulsion doivent le faire » ? Et d'émettre l'hypothèse que « la cause responsable de l'infléchissement du mouvement rectiligne en un mouvement curviligne pourrait résulter de la présence d'un corps attractif placé au centre [le Soleil]. » Hooke se démarque des partisans de la c – la force centrifuge – à l'instar de Christian Huygens²¹ et de Newton²².

- 7 En 1674, dans un article intitulé “*An Attempt to Prove the Motion of the Earth from Observations*”, Hooke apparaît partisan de la loi de l'inertie et souscrit à la théorie d'une attraction mutuelle qu'il nomme “*attractive power*”, “*attraction*” ou “*gravitating power*” des “*cœlestial bodies*” [Terre, Lune et planètes] et du Soleil :

Je me suis souvent demandé pourquoi, en suivant la supposition de Copernic, les planètes devraient se déplacer autour du Soleil en n'étant pas incluses dans des orbites solides (ce que les anciens, peut-être pour cette raison, pouvaient admettre) ; ni en n'étant pas liées à lui, comme à leur centre, par quelques cordes visibles ; ni en ne s'écartant pas au-delà de tel ou tel degré ; ni encore en ne se déplaçant pas en ligne droite, comme tous les corps qui n'ont reçu qu'une seule impulsion devraient le faire. Parce qu'un corps solide, déplacé dans un fluide vers n'importe quelle partie (à moins qu'il ne soit poussé de côté par l'impact d'un corps voisin ; ou qu'il ne soit empêché dans ce mouvement par d'autres corps lui faisant obstacle ; ou que le milieu au travers duquel il se déplace ne soit supposé n'être également pénétrable dans toutes les directions) doit persévérer dans son mouvement en ligne droite et ne s'en écarter en aucune manière que ce soit. Or tous les corps célestes, qui sont des corps solides réguliers, se déplaçant dans un fluide, mais en le faisant en suivant des trajectoires circulaires ou elliptiques, mais non droites, doivent avoir, en plus de la première impulsion reçue, une autre cause qui les oblige à incurver leur mouvement. Et pour arriver à ce résultat, je ne peux imaginer aucune autre cause probable en plus de ces deux-ci. La première pourrait provenir d'une densité inégale du milieu que traverse le corps planétaire en se déplaçant ; c'est-à-dire que, si l'on suppose cette partie du milieu ambiant qui est la plus éloignée du centre, ou du soleil, plus dense à l'extérieur que ce qui est plus près, il s'ensuivra que le mouvement direct sera toujours dévié vers l'intérieur par la plus grande pénétrabilité de la partie interne de ce milieu et la plus forte résistance de l'externe. Il y a

quelques probabilités qu'il en soit ainsi, en ceci que si l'éther a quelque peu la nature de l'air, il est rationnel que la partie la plus proche du Soleil, la fontaine de chaleur, doive être la plus raréfiée et par conséquent que celles qui sont les plus éloignées doivent être les plus denses, Mais une telle supposition entraîne aussi des improbabilités, dont je ne ferai pas état, car n'apportant rien à mon propos actuel.

Mais la deuxième cause de l'infléchissement d'un mouvement direct vers une courbe peut résulter d'une propriété attractive du corps placé au centre, par laquelle il s'efforce continuellement de l'attirer ou de le diriger vers lui. Car si un tel principe est supposé, il semble possible d'expliquer tous les phénomènes des planètes par le principe commun des mouvements mécaniques ; et il se pourrait que la poursuite de cette spéculation nous donne une véritable hypothèse de leur mouvement, et que d'un petit nombre d'observations, leurs mouvements puissent être portés jusqu'à un si haut degré de certitude, que nous soyons capables de les calculer avec la plus grande exactitude et certitude que l'on puisse désirer²³.

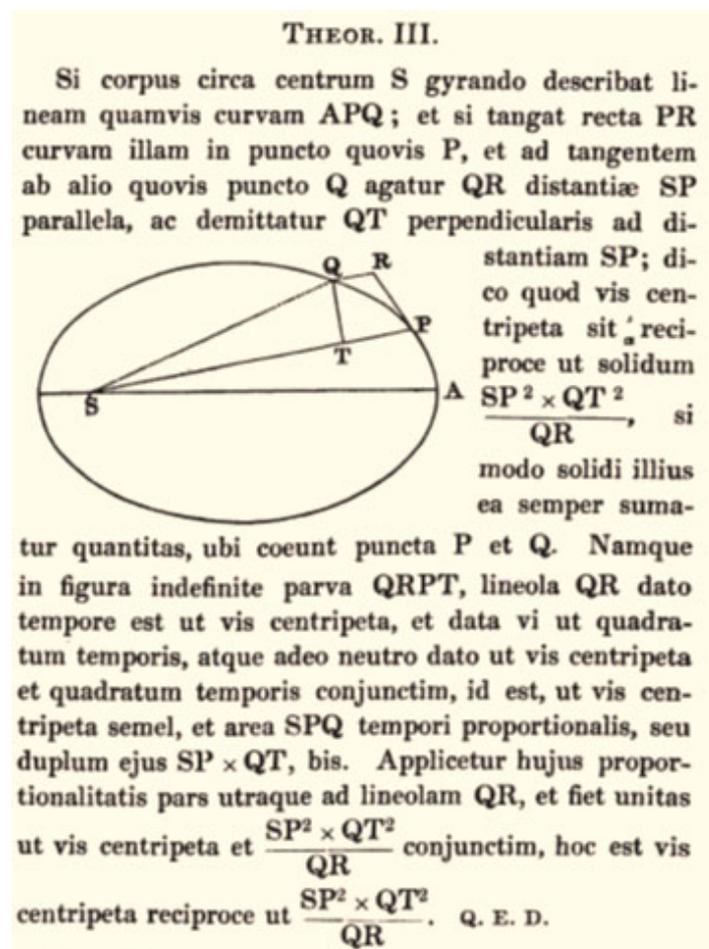
- 8 Néanmoins Hooke ne parvient pas à formuler une loi de cette attraction mutuelle²⁴. Une querelle éclate avec Newton quand, en 1678, Hooke, en tant que secrétaire de la *Royal Society*, constate dans le résumé des *Principia* rédigé par Halley que Newton affirme qu'entre deux corps l'attraction est inversement proportionnelle au carré de la distance entre leurs centres. Hooke réclame l'antériorité et la paternité de cette affirmation²⁵. La controverse prend de l'ampleur et se poursuit dans une correspondance (1679-1680) dont la courtoisie de façade cache une réelle rivalité²⁶. Finalement, Newton publie les *Principia* en y faisant disparaître le « *clarissimus Hookius* » (le « très brillant Hooke »).

2.3. La trajectoire des comètes ?

- 9 Dans la seconde moitié du XVII^e siècle, de « grandes comètes »²⁷ sont visibles et sont observées avec acuité par les astronomes qui disposent désormais d'instruments optiques et astrométriques de grande précision²⁸. Parmi les savants qui ont observé la comète de 1682, Edmund Halley s'interroge sur la trajectoire de ces corps : trajectoire linéaire comme le pense Kepler, ou bien trajectoire circulaire à l'instar des planètes comme le soutient Giovanni Domeni-

co Cassini²⁹ ? Halley interroge aussi Newton quant à la forme de l'orbite des comètes et ce dernier d'affirmer qu'elles sont, selon ses propres calculs, elliptiques et non circulaires. En novembre 1684 Newton rédige et transmet à Halley le *De motu corporum in gyrum* [Sur le mouvement des corps en orbite]³⁰ dont le contenu constitue les prolégomènes des *Principia* et de la gravitation universelle. Newton y démontre géométriquement que si un corps se meut dans un mouvement elliptique et où un des foyers de cette orbite est le centre attracteur alors le corps est soumis à une force $1/r^2$.

Fig. 1. Théorème 3 du *De Motu*



Le troisième théorème du *De Motu* évalue maintenant la force centripète dans une orbite elliptique dont la courbure est considérée comme composée d'arcs infinitésimaux, et la force centripète en tout point est évaluée à partir de la vitesse et de la courbure de l'arc infinitésimal local. Ce point se retrouve dans les *Principia* : proposition 6 du livre 1.

(RIGAUD S. P., *Historical essay on the first publication of sir Isaac Newton's Principia*, Oxford, University Press, 1838, appendix p. 4)

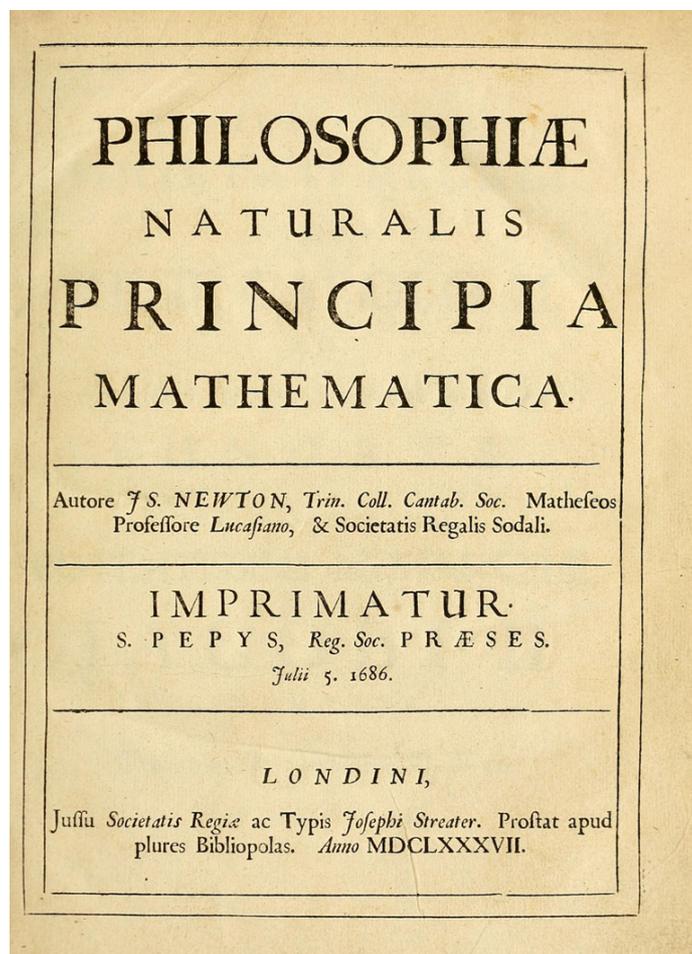
3. Publication des *Principia* et diffusion du newtonianisme

L'histoire de cette philosophie est fort courte, les principes n'en furent publiés qu'en 1686, par l'auteur [...] ensuite publiés de nouveau en 1713, avec des augmentations considérables. En 1726, un an avant la mort de l'auteur, on donna encore une nouvelle édition de l'ouvrage qui les contient, & qui est intitulé *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, ouvrage immortel, & un des plus beaux que l'esprit humain ait jamais produits³¹.

3.1. La première édition des *Principia* (1687)

- 10 La première édition des *Principia* est publiée en 1687, à Londres, au format *in-quarto*, en latin – signe d'une permanence malgré l'essor croissant des publications en langues nationales au cours du xviii^e siècle – et selon les estimations à 750 exemplaires³². Cette publication s'inscrit dans un contexte d'institutionnalisation et de normalisation des sciences britanniques³³ : au printemps 1686 la *Royal Society* reçoit une demande de publication des *Principia*, le 19 mai Halley demande et obtient l'approbation des membres de l'institution ; Halley s'engage aussi à financer la publication dont l'impression est confiée à Joseph Streater et Samuel Smith (*Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat Venales apud Sam. Smith ad insigna Principis Walliæ in Coemiterio D. Pauli, aliosq, nonnullos Bibliopolas*). Le 5 juillet 1687, l'ouvrage paraît avec l'imprimatur de « S. Peppys, Reg[alis]. Soc[ietatis]. PRÆSES³⁴ ».

Fig. 2. Couverture de la première édition des *Principia*, Bnf



Domaine public, BnF

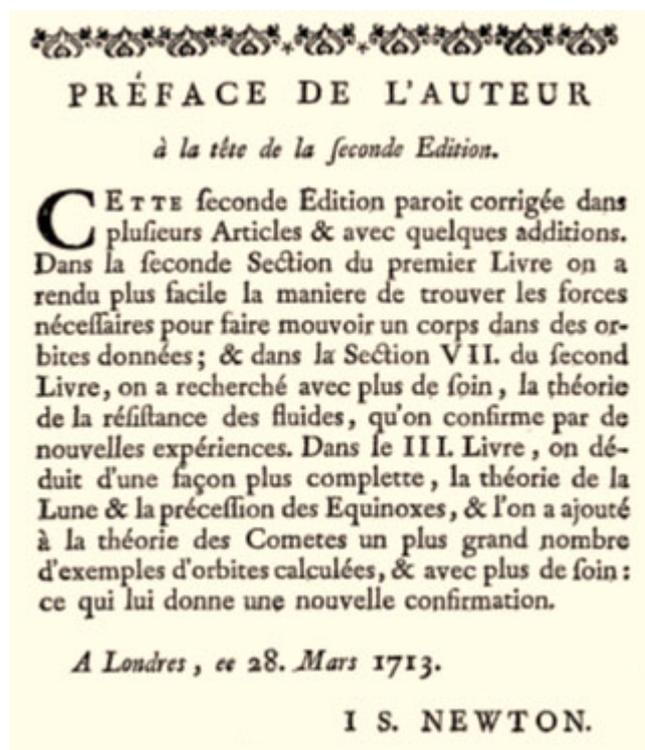
- 11 L'ouvrage, dont la publication constitue un moment majeur de débats, controverses et de rupture dans la formation d'une pensée scientifique moderne, est structuré en trois livres qui reflètent la construction du concept de gravitation, des notions (force, espace...) et plus globalement de la mécanique céleste³⁵ :
- 12 – *De motu corporum : liber primus* (« Sur le mouvement des corps : livre premier »), où Newton présente les trois lois du mouvement des corps et définit notamment les concepts de force centripète et de masse.
– *De motu corporum : liber secundus* (« Sur le mouvement des corps : livre second »), dont le contenu concerne la mécanique des fluides, la friction dans le mouvement des corps, l'existence d'une force qui agit à distance.

- *De mundi systemate : liber tertius* (« Sur le système du monde : livre troisième »).
- 13 C'est dans les *Principia* que Newton formule quatre lois mathématiques qui régissent la mécanique céleste :
- 14 – Loi de la gravitation universelle : Deux corps quelconques s'attirent en raison directe de leur masse et en raison inverse du carré de la distance de leurs centres de gravité.
- Première loi de Newton ou principe de l'inertie (initialement formulée par Galilée) : Dans un référentiel galiléen, le centre d'inertie G d'un solide soumis à un ensemble de forces dont la somme vectorielle est nulle est soit au repos, soit animé d'un mouvement rectiligne et uniforme (le vecteur vitesse demeure constant).
 - Deuxième loi de Newton (ou théorème du centre d'inertie) : Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces appliquées à un objet ponctuel est égale au produit de la masse de l'objet par son vecteur accélération.
 - Troisième loi de Newton : Lorsqu'un solide S_1 exerce une force sur un solide S_2 , le solide S_2 exerce sur le solide S_1 , la force directement opposée.

3.2. Les éditions successives (1713 et 1726)

- 15 Newton, président de la *Royal Society* (1703-1727) et désormais engagé depuis 1689 dans une carrière politique et administrative, publie deux autres éditions des *Principia* avec la mention « *aucta et emendata* » (« revue et complétée ») : en 1713, à Cambridge, et une dernière, en 1726, à Londres, un an avant la mort de l'auteur. La seconde édition est motivée à la fois par la rareté de l'ouvrage³⁶, par le désir de Newton en personne qui a accumulé des annotations pour en réviser le contenu³⁷ et est mise sous presse par le truchement de son entourage et de ses correspondants, comme Richard Bentley (1662-1742) et Roger Cotes (1692-1716).

Fig. 3. Préface de la seconde édition des *Principia*



Préface de Newton de la seconde édition in, *Principes mathématiques*, vol. 1, p. xix., d'après la version française d'Émilie du Châtelet

Domaine public, BnF

- 16 Outre les chapitres mis à jour, cette nouvelle édition, imprimée à 750 exemplaires, comprend un *Scholium generale* où, répondant aux critiques de la première édition, il affirme : *Hypotheses non fingo* (« Je ne formule aucune hypothèse ») ! Dans le *Scholium* Newton répond tout particulièrement aux objections faites à sa théorie qui serait un retour aux « forces occultes » de la physique aristotélicienne et il critique la théorie des tourbillons cartésiens incompatibles avec les orbites très excentriques des comètes.
- 17 La troisième édition a été publiée en 1726 à 800 exemplaires sous la direction de Henry Pemberton (1694-1771) et par l'imprimerie londonienne de Guil. [William] et John Innys³⁸. Il s'agit de la dernière édition *aucta et emendata* par Newton alors que celui-ci, âgé de 83 ans, s'est plus ou moins éloigné depuis une vingtaine d'années des questions scientifiques et notamment de la physique. Son contenu est considéré comme la référence de l'œuvre de Newton, c'est l'édition sur laquelle Alexandre Koyré et I. Bernard Cohen ont travaillé³⁹.

3.2. Diffusion, traduction et vulgarisation des *Principia* dans le monde européen

- 18 Parallèlement aux nouvelles éditions de 1713⁴⁰ et 1726, les *Principia* sont publiés à Amsterdam, toujours en latin, en 1714 et 1723, ces deux éditions *in quarto* reprennent le texte amendé de 1713. Le nombre somme toute limité d'impressions de l'ouvrage au regard du lectorat est sans nul doute à l'origine des publications faites à Amsterdam⁴¹, qui est à la fois une des villes intellectuelles du continent et un important centre d'impression. C'est aussi aux Pays-Bas que s'illustre Willem Jacob 's Gravesande (1688-1742), un des fondateurs du *Journal littéraire de La Haye*, engagé dans le conflit qui oppose Newton et Leibniz. 's Gravesande est un des premiers savants du continent à adhérer au newtonianisme⁴². En 1715, alors qu'il se trouve à Londres avec l'ambassade des États généraux des Provinces-Unies, il fréquente les milieux scientifiques de la capitale partisans de l'attraction universelle. En 1719, il publie à Leyde les *Physices elementa mathematica experimentis confirmata, sive introductio ad philosophiam Newtonianam*, qui sont réédités en 1725, et 1742⁴³ ; puis, en 1723, les *Philosophiae Newtonianae Institutiones, in usus academicos*⁴⁴. Plus largement, il apparaît que l'université de Leyde est à l'échelle continentale un foyer de diffusion de la théorie newtonienne et, sans nul doute, le premier chronologiquement et par la caution intellectuelle qu'elle lui apporte.
- 19 C'est en 1726 que la troisième édition des *Principia* est traduite en anglais par Andrew Motte (1696-1734) et est publiée, en 1729, par son frère et éditeur Benjamin Motte (1693-1738)⁴⁵. Puis entre 1745 et 1745, Émilie du Châtelet (1706-1749)⁴⁶ traduit les *Principia* en français qui sont publiés une première fois en 1756 et, dans une version définitive, en 1759. Enfin, en 1770, les *Principia* sont traduits en langue espagnole par José Celestino Mutis (1732-1808) qui introduit la physique newtonienne dans l'Amérique espagnole⁴⁷. Ces traductions sont à considérer en tant que vecteurs de diffusion des *Principia* dans le monde savant des Lumières et dans les territoires sous domination impériale des Amériques, et en creux les aires culturelles à l'écart à la fin du XVIII^e siècle⁴⁸.

- 20 En France, l'édition du 2 août 1688 du *Journal des Sçavans* annonce la publication des *Principia* et le contenu de l'article montre un évident scepticisme quant à la valeur scientifique du livre et c'est en France, du fait de l'impact du cartésianisme, que les résistances ont été les plus fortes :

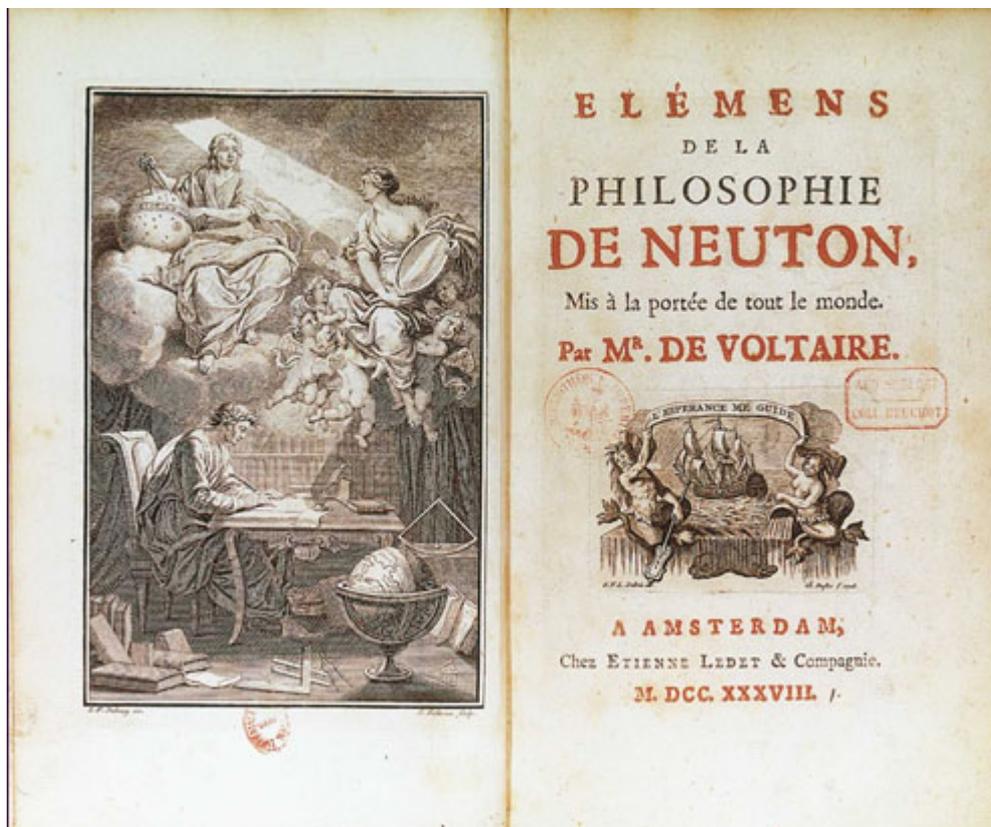
L'ouvrage de Monsieur Newton est une Mécanique la plus parfaite qu'on puisse imaginer [...]. Mais il faut avouër qu'on ne peut regarder ces démonstrations que comme mécaniques, puisque l'auteur reconnoit lui-mesme [...] qu'il n'a pas considéré leurs principes en Physicien, mais en simple Geometre [...].

Pour faire donc un ouvrage le plus parfait qu'il est possible, Mr. Newton n'a qu'à nous donner une Physique aussi exacte qu'est la Mécanique. Il l'aura donnée quand il aura substitué de vrais mouvemens en la place de ceux qu'il a supposez⁴⁹.

- 21 Néanmoins la diffusion du newtonianisme se fait par une littérature à la fois de vulgarisation et savante⁵⁰, qui connaît un fort essor à partir du milieu de la décennie 1730, et cela à travers les journaux et des ouvrages⁵¹, de défense ou d'opposition. Les écrits de Voltaire ont joué un rôle très important dans la vulgarisation des théories de Newton⁵², de même que ceux de Francesco Algarotti (1712-1764)⁵³. Quant à ceux des jésuites Noël Regnault (1683-1762)⁵⁴ et Louis Castel (1688-1757)⁵⁵, des minimes Thomas Le Seur (1703-1770) et François Jacquier Genève (1711-1788)⁵⁶, ou encore de Charles-François Roland Le Virloys (1716-1772)⁵⁷, ils s'inscrivent dans une entreprise savante de diffusion et de commentaire. En 1763, alors que la physique newtonienne s'impose dans le monde savant et les institutions scientifiques, le jésuite Aimé-Henri Paulian publie le *Traité de paix entre Descartes et Newton*, où il fait la proposition suivante :

Pour faire connaître et pour réconcilier ces deux grands Hommes, je donnerai d'abord leurs Vies littéraires avec toute l'étendue et toute la critique dont elles sont susceptibles ; j'exposerai ensuite avec toute la franchise possible les erreurs qu'ils ont enseignées, et les vérités qu'ils ont découvertes ; je proposerai enfin un système mixte d'où les unes seront exclues, et où les autres seront heureusement alliées⁵⁸.

Fig. 4. Illustration et page de titre des *Éléments de la philosophie de Newton*



Domaine public, BnF

4. Confirmation et succès d'une révolution scientifique

- 22 C'est au cours de la première moitié du siècle des Lumières que les théories newtoniennes sont confirmées et que, après des îles Britanniques, les institutions scientifiques et savants du continent, inscrits dans le cartésianisme ou le leibnizianisme, adhèrent à la théorie de la gravitation universelle. Ce fut par une mathématisation et tout particulièrement dans le royaume de France, où les très cartésiens Cassini et Fontenelle dominent les institutions savantes (direction de l'Observatoire et secrétariat perpétuel de l'Académie des sciences), que des expériences commanditées par l'Observatoire royal de Paris et l'Académie royale des Sciences contribuent à montrer que la forme de la Terre ainsi que le retour de la comète observée en 1682 s'inscrivent dans le paradigme de la physique de Newton.

4.1. La forme de la Terre : les expéditions du Pérou (1735-1745) et de Laponie (1736-1737)

- 23 Dans la décennie 1730, la question de la forme de la Terre connaît un regain d'intérêt et oppose les tenants de la physique cartésienne des tourbillons aux partisans de la gravitation universelle, les premiers affirmant que la Terre est aplatie au niveau de l'équateur alors que pour les seconds c'est au niveau des pôles⁵⁹. Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759), qui parmi les académiciens royaux des sciences se déclare ouvertement newtonien, est sans nul doute un des plus ardens défenseurs de cette dernière vision de notre planète⁶⁰.

Une force secrète qu'on appelle pesanteur attire ou chasse les Corps vers le centre de la Terre. Cette force, si on la suppose par tout la même, rendrait la Terre parfaitement sphérique, si elle était composée d'une matière fluide et homogène, et qu'elle n'eût aucun mouvement : car il est évident qu'afin que chaque colonne de ce fluide, prise depuis le centre jusqu'à la superficie, demeurât en équilibre avec les autres, il faudrait que son poids soit égal au poids de chacune des autres ; et puisque la matière est supposée homogène, il faudrait pour que le poids de chaque colonne fût le même, qu'elles fussent toutes de même longueur. Or il n'y a que la Sphère, dans laquelle cette propriété se puisse trouver ; la Terre serait donc parfaitement sphérique.

Mais c'est une Loi pour tous les Corps qui décrivent des Cercles, de tendre à s'éloigner du centre du Cercle qu'ils décrivent, et cet effort qu'ils font pour cela, s'appelle force centrifuge ; l'on sait encore que si des Corps égaux décrivent dans le même temps des Cercles différents, leurs forces centrifuges sont proportionnelles aux Cercles qu'ils décrivent. Si donc la Terre vient à circuler autour de son axe, chacune de ses parties acquerra une force centrifuge, d'autant plus grande que le Cercle qu'elle décrira sera plus grand, c'est-à-dire, d'autant plus grande, qu'elle sera plus proche de l'Equateur, cette force allant s'anéantir aux Pôles⁶¹.

- 24 En 1735, la querelle quant à la forme de la Terre est telle que l'Académie royale des Sciences, largement dominée par les opposants au newtonianisme, décide d'organiser, avec le soutien du ministre de la

Marine Maurepas, deux expéditions scientifiques successives pour mesurer le degré méridien à deux latitudes extrêmes. La première doit se rendre dans l'Amérique équinoxiale pour effectuer une mesure au niveau de l'équateur, expédition géodésique franco-espagnole dans la Vice-royauté du Pérou, composée notamment par les savants français Pierre Bouguer (1698-1758) et Charles Marie de La Condamine (1701-1774)⁶² qui sont accompagnés par Jorge Juan y Santacilia (1713-1773) et Antonio de Ulloa (1716-1795), deux scientifiques espagnols *ilustrados* et acquis aux théories newtoniennes⁶³. La seconde a pour destination la Laponie dans le but d'y réaliser des opérations géodésiques au niveau du cercle polaire sous la direction du très newtonien Maupertuis. Le 28 août 1737, de retour de Laponie, Maupertuis annonce que le degré méridien mesuré en Laponie est plus long que celui mesuré en France – le « degré Picard » – et donc la Terre est aplatie aux pôles et inversement renflée à l'équateur : Newton a raison ! Les résultats de l'expédition en Équateur sont annoncés en 1744 et confirment cela, tout comme les mesures réalisées dans le cadre de la « Méridienne Vérifiée » (1739-1740).

4.2. Le calcul du retour de la comète de Halley

- 25 Halley, dans *A Synopsis of the Astronomy of Comets* (1705) et selon les théories cométaires de Newton (orbite elliptique et loi de la gravitation), écrit :

Ainsi, chaque fois qu'une nouvelle comète apparaîtra, nous serons peut-être en mesure de savoir, en comparant ensemble les éléments, s'il s'agit de ceux qui sont apparus auparavant et, par conséquent, de déterminer sa période, et l'axe de son orbite, et de prédire son retour. Et, en effet, il y a beaucoup de choses qui me font croire que la comète qu'Apian a observée en l'an 1531 était la même que celle que Kepler et Longomontanus ont étudiée et décrite en l'an 1607, et que j'ai moi-même vu revenir et que j'ai observée en l'an 1682⁶⁴.

- 26 Halley calcule, en prenant en compte l'action de Jupiter, que la comète revient tous les 75 à 76 ans et annonce son retour pour une période allant de la fin de 1758 au de 1759⁶⁵. Après la mort de Halley en 1742⁶⁶, et le retour prédit se rapprochant, plusieurs savants

tentent de calculer précisément le passage au périhélie. Parmi ceux-ci se signalent Leonhard Euler (1707-1783), Jean Philippe Loys de Chezeaux (1718-1751) et un groupe formé par Alexis Clairaut (1713-1765)⁶⁷, Joseph Jérôme de Lalande (1732-1807) et Nicole-Reine Lepaute (1723-1788)⁶⁸. Le 14 novembre 1758, devant l'Académie royale des Sciences, Clairaut annonce que le passage du périhélie aura lieu mi-avril 1759. Si finalement la comète passe au périhélie un mois plus tôt, le 13 mars, Lalande déclare, le 25 avril, devant l'Académie royale des Sciences, que ce retour de la comète « change nos doutes en certitudes, et nos hypothèses en des démonstrations ⁶⁹ ».

4.3. Le paradigme newtonien et la « science normale »

27 Avec Pierre-Simon de Laplace⁷⁰, la physique newtonienne trouve dans le *Traité de mécanique céleste*⁷¹ l'archétype du savant « normal »⁷² qui s'est inscrit sans le discuter dans le legs des *Principia* et dont l'œuvre scientifique fut de confirmer la théorie de la gravitation dans un programme de recherche.

Newton publia, vers la fin du dix-septième siècle, la découverte de la pesanteur universelle. Depuis cette époque, les géomètres sont parvenus à ramener à cette grande loi de la nature, tous les phénomènes connus du système du monde, et à donner ainsi aux théories et aux tables astronomiques, une précision inespérée. Je me propose de présenter sous un même point de vue ces théories éparses dans un grand nombre d'ouvrages, et dont l'ensemble embrassant tous les résultats de la gravitation universelle, sur l'équilibre et sur les mouvements des corps solides et fluides qui composent le système solaire et les systèmes semblables répandus dans l'immensité des cieux, forme la *Mécanique céleste*. L'Astronomie, considérée de la manière la plus générale, est un grand problème de Mécanique, dont les éléments des mouvements célestes sont les arbitraires ; sa solution dépend à la fois de l'exactitude des observations et de la perfection de l'analyse, et il importe extrêmement d'en bannir tout empirisme, et de la réduire à n'emprunter de l'observation, que les données indispensables. [...] Je donnerai les méthodes et les formules pour déterminer les mouvements des centres de gravité des corps célestes, la figure de ces corps, les oscillations des fluides qui les recouvrent, et leurs mouvements autour de leurs propres centres de gravité⁷³.

- 28 Trois grands axes structurent le programme de recherche laplacien pour montrer que les irrégularités observées s'expliquent par une prise en compte de toutes les interactions gravitationnelles, pour fixer le statut de la loi de la gravitation quant à l'existence d'un « éther » et de l'échelle de son action (échelle du système solaire et échelle moléculaire ?), et enfin répondre à la question de la stabilité du système solaire.

5. Conclusion

- 29 « Nous n'avons rien à ajouter à cet article sur l'exposition de la philosophie newtonienne, sinon de prier le lecteur de ne point en séparer la lecture de celle des mots Attraction & Gravité. » (Jean le Rond d'Alembert). Si au mitan du siècle des Lumières dans l'*Encyclopédie*, d'Alembert écrit dans l'article « Newtonianisme » de l'*Encyclopédie*⁷⁴ qu'il n'a « rien à ajouter [...] sur l'exposition de la philosophie newtonienne, sinon de prier le lecteur de ne point en séparer la lecture de celle des mots Attraction & Gravité » et que « l'histoire de cette philosophie [de Newton] est fort courte », les théories newtoniennes constituent un moment majeur de la pensée scientifique de ce siècle qui, dans une perspective historique, peut se caractériser comme un saut épistémologique radical avec la théorie de la force d'attraction/gravité et une révolution scientifique concomitamment à la constitution du paradigme d'une science normale : la mécanique céleste classique des différents corps du système solaire⁷⁵.
- 30 Au XIX^e siècle, deux « anomalies » se posent à propos de la théorie classique de la gravitation : irrégularités de l'orbite d'Uranus et précession du périhélie de Mercure. À la lumière des différents calculs quant au mouvement d'Uranus, François Arago émet l'hypothèse d'une perturbation causée par l'attraction d'une planète inconnue, conformément aux lois de Newton. Dans le même temps et par des calculs, Urbain Le Verrier⁷⁶ et John Couch Adams déterminent la position de cette hypothétique planète. Le 23 septembre 1836, Johann Gottfried Galle, informé par le premier, et Heinrich Louis d'Arrest observent le corps perturbateur : Neptune. Mais les observations astronomiques montrent aussi que l'orbite de Mercure présente des irrégularités : le périhélie se déplace ! Selon les lois de la mécanique céleste, ce phénomène devrait être le résultat d'une perturbation

gravitationnelle causée par une hypothétique planète inframercu-
rielle : la planète Vulcain⁷⁷. Le Verrier en calcule l'orbite et en donne
les éléments en 1859. Malgré les observations et les faux espoirs de
découverte, point de planète Vulcain. Finalement, les mouvements de
Mercure ne sont expliqués qu'en 1915 par la relativité générale d'Al-
bert Einstein⁷⁸. Plus récemment, dans les années cinquante et
soixante, la gravitation est questionnée quant à la gravitation répul-
sive⁷⁹.

BIBLIOGRAPHIE

- AUFFRAY Jean-Paul, *Newton ou le triomphe de l'alchimiste*, Paris, Le Pom-
mier, 2012.
- BAILLON Jean-François, « Aspects de l'im-
pact culturel et idéologique des décou-
vertes de Newton », *Revue de la Société
d'études anglo-américaines des XVII^e et
XVIII^e siècles*, 1994, n° 38, p. 73-83, <http://www.persee.fr/doc/xvii_0291-3798_1994_num_38_1_1285>.
- BACHELARD Gaston, *La formation de l'es-
prit scientifique*, Paris, J. Vrin, 1993.
- BALIBAR Françoise, *Einstein, Newton,
Poincaré : une histoire de principes*,
Paris, Belin, 2008.
- BALIBAR Françoise, *Galilée, Newton lus
par Einstein*, Paris, Puf, 2007.
- BARTHÉLÉMY Georges, *Newton, mécani-
cien du cosmos*, Paris, Vrin, 1992.
- BECHLER Zev, *Newton's physics and the
conceptual structure of the scientific re-
volution*, Dordrecht, Kluwer, 1991.
- BIARNAIS Marie-Françoise, *Les Principia
de Newton : genèse et structure des cha-
pitres fondamentaux avec traduction
nouvelle*, Paris, Centre de documenta-
tion sciences humaines, 1982.
- CAJORI Florian, *Sir Isaac Newton's Math-
ematical Principles of Natural Philo-
sophy and His system of the World*,
Berkeley, California, University of Cali-
fornia Press, 1947.
- CASINI Paolo, « Le "newtonianisme" au
siècle des Lumières. Recherches et
perspectives », *Dix-huitième Siècle*,
1969, n° 1, p. 139-159, <https://www.persee.fr/doc/dhs_0070-6760_1969_num_1_1_885>.
- CHÂTELET Émilie du, *Principes mathéma-
tiques de la philosophie naturelle*, 2 vol.,
Paris, Desaint et Saillant, 1759.
- CHRISTIANSON Gale E., *Isaac Newton and
the Scientific Revolution*, Oxford, Ox-
ford University Press, 1996.
- DÉBARBAT Suzanne, « Newton, Halley et
l'Observatoire de Paris », *Revue d'his-
toire des sciences*, 1986, t. 39, n° 2,
p. 127-154, <[https://www.persee.fr/do
c/rhs_0151-4105_1986_num_39_2_40
27](https://www.persee.fr/doc/rhs_0151-4105_1986_num_39_2_4027)>.
- GAUKROGER Stephen, *The Emergence of a
Scientific Culture: Science and the*

- Shaping of Modernity 1210-1685, Oxford, Clarendon Press, 2009.
- GLEICK James, *Isaac Newton : un destin fabuleux*, Paris, Dunod, 2005.
- GRANT Edward, *A History of Natural Philosophy from the Ancient World to the Nineteenth Century*, Cambridge, Cambridge University Press, 2017.
- GUERLAC Henry, *Newton on the Continent*, Ithaca, Cornell University Press, 1981.
- HERMANN Claudine, « La traduction et les commentaires des Principia de Newton par Émilie du Châtelet », *Bibnum, Physique*, <<http://journals.openedition.org/bibnum/722>>, mis en ligne le 01 octobre 2008.
- KLEIN Étienne, BRAX Philippe et VANHOVE Pierre, *Qu'est-ce que la gravité ? Le grand défi de la physique*, Paris, Dunod, 2019.
- KOYRÉ Alexandre, *Études newtoniennes*, Paris, Gallimard, 1968.
- KOYRÉ Alexandre, *Études d'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Gallimard, 1985.
- KOYRÉ Alexandre, *Du monde clos à l'univers infini*, Paris, Gallimard, 1988.
- KUHN Thomas, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Champs Flammarion, 1983.
- MANUEL Franck E., *A portrait of Isaac Newton*, Cambridge (Mass.), Belknap Press of Harvard University Press, 1968.
- MOTTE Andrew, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, 2 vol., London, B. Motte, 1729.
- NEWTON Isaac, *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, London, J. Streater, 1687.
- NEWTON Isaac, *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, Cambridge, C. Crownfield, 1713.
- NEWTON Isaac, *Editio tertia aucta et emendata*, London, G. et J. Innys, 1726.
- PALTER Robert (ed.), *The Annus mirabilis of Sir Isaac Newton, 1666-1666*, Cambridge (Mass.), MIT Press, 1967.
- PANZA Marco, *Isaac Newton*, Paris, Les Belles Lettres, 2003.
- PANZA Marco, *Newton et les origines de l'analyse : 1664-1666*, Paris, Librairie A. Blanchard, 2005.
- RIVIÈRE Jean, « La face cachée de Newton : antitrinitaire et alchimiste », *Revue française de civilisation britannique*, 2013, XVIII-1, <<http://journals.openedition.org/rfcb/3583>>.
- ROMOGNAN Jean-Pierre, « Robert Hooke et Isaac Newton. La pomme de la discorde », *Reflets de la Physique*, juil.-août 2014, n° 40, p. 20-23.
- SCHAFFER Simon, *La fabrique des sciences modernes*, Paris, Éd. du Seuil, 2014.
- SCHRÖEDER Prosper, *La loi de la gravitation universelle, Newton, Euler et Laplace, le cheminement scientifique vers une science normale*, Paris, Springer, 2007.
- SHANK John Bennet, *The Newton wars and the beginning of the French Enlightenment*, Chicago, University Press of Chicago, 2008.
- SIMON Gérard, « Mais qui donc était Newton ? », *Le Débat*, 1983, n° 24, p. 128-150, DOI : <[10.3917/deba.024.0128](https://doi.org/10.3917/deba.024.0128)>.

TATON René (dir.), *Histoire générale des sciences, La science moderne*, t. 2, Paris, Puf, 1958.

WESTFALL Richard S., *The life of Isaac Newton*, Cambridge, Cambridge Uni-

versity Press, 1993.

WESTFALL Richard S., *Isaac Newton*, Cambridge, Cambridge University Press, 2007.

NOTES

1 Les autres forces du « Modèle standard » sont d'une part la force forte et la force faible qui ont une portée limitée et n'agissent qu'à l'échelle subatomique, et d'autre part la force électromagnétique qui, avec la force gravitationnelle, agit à portée infinie. Ces quatre forces décrivent les phénomènes physiques connus de l'Univers. Cf. KLEIN Étienne, BRAX Philippe et VANHOVE Pierre, *Qu'est-ce que la gravité ? Le grand défi de la physique*, Paris, Dunod, 2019. Si les termes de gravitation et gravité – comme concepts scientifiques – n'apparaissent pas dans la première édition du *Dictionnaire de l'Académie française* (1694), dans l'édition suivante (1718) la gravité est ainsi définie : « Pesanteur. En ce sens il n'a guère d'usage que dans cette phrase du style dogmatique. Centre de gravité » (t. 2, p. 744). Dans la quatrième édition de 1762, la gravitation est un « terme de physique. Action de graviter », t. 1, p. 839.

2 WESTFALL Richard S., *The Life of Isaac Newton*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993 ; *Isaac Newton*, Cambridge University Press, 2007. *Newton papers* : Cambridge University, Cambridge digital library <<https://cudl.lib.cam.ac.uk/collections/newton/1>> ; National Library of Israel : <<https://web.nli.org.il/sites/nli/english/collections/humanities/newton>> ; PEMBERTON Henry, *A View of Sir Isaac Newton's philosophy*, Londres, S. Palmer, 1728 ; STUKELEY William, *Memoirs of Sir Isaac Newton's life*, 1752, version numérisée : <https://en.wikisource.org/wiki/Memoirs_of_Sir_Isaac_Newton%27s_life> ; COHEN I. Bernard, *Introduction to Newton's Principia*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1978 ; *Revolution in Science*, Cambridge, MA, The Belknap Press of Harvard University Press, 1985 ; COHEN I. Bernard, "Newton's Third Law and Universal Gravity", *Journal of the History of Ideas*, vol. 48, n° 4, Oct.-Dec. 1987, p. 590 et sq.

3 Le corpus de connaissances que recouvre la philosophie naturelle, de nos jours, est celui du champ disciplinaire des sciences physiques et astronomiques, notamment la mécanique céleste. SMITH George, "Newton's Philoso-

phiae Naturalis Principia Mathematica”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (winter 2008 edition), ZALTA Edward N. (ed.), <<https://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/newton-principia/>> ; LERNER Michel-Pierre, *Le Monde des sphères, I. Genèse et triomphe d’une représentation cosmique, II. La fin du cosmos classique*, Paris, Les Belles Lettres, 2008 ; GAUKROGER Stephen, *The Emergence of a Scientific Culture: Science and the Shaping of Modernity 1210-1685*, Oxford, Clarendon Press, 2009 ; SCHAFER Simon, *La Fabrique des sciences modernes*, Paris, Éd. du Seuil, 2014 ; DASTON Lorraine, « Philosophies de la nature et philosophie naturelle (1500-1750) », p. 177-203, in VAN DAMMÉ Stéphane (dir.), *Histoire des sciences et des savoirs : de la Renaissance aux Lumières*, Paris, Éd du Seuil, 2016 ; GRANT Edward, *A History of Natural Philosophy from the Ancient World to the Nineteenth Century*, Cambridge, Cambridge University Press, 2017. Sur le concept de révolution scientifique seront convoqués, dans une perspective historiographique et sans pouvoir aborder ici les débats actuels, les travaux d’Alexandre Koyré, de Thomas Kuhn et d’Imre Lakatos qui demeurent des étapes épistémologiques et historiographiques majeures. BLAY Michel, *Critique de l’histoire des sciences*, Paris, CNRS éd., 2017.

4 Publication à Nuremberg par l’imprimeur Joh. Petreium, rééd en 1566 à Bâle par l’imprimeur Henric Petrina.

5 Les lois physiques de la mécanique sont identiques pour tous les référentiels galiléens.

6 *De mundi ætherei recentioribus phaenomenis liber secundus, qui est de illustri stella caudata ab elapso fere tiente novembris anni 1577 usque in finem januarii sequentis conspecta*, Uraniborg, 1588.

7 Les deux premières lois sont publiées dans l’*Astronomia nova* (1609), la troisième l’est dans l’*Harmonices Mundi* (1619). La 1^{re} loi, dite des orbites, énonce que chaque planète se meut sur une trajectoire elliptique, dont le Soleil occupe l’un des foyers, la 2^e, dite des aires, énonce que le rayon vecteur planète Soleil balaie des aires égales dans des intervalles de temps égaux, quant à la 3^e et dernière loi, dite des périodes, il y est énoncé que le carré de la période de révolution est proportionnel au cube du demi grand-axe de l’orbite. Cependant les conceptions de Kepler quant à l’« attraction » entre les corps sont pour B. Stephenson à considérer davantage comme « un épisode de la lutte pour l’héliocentrisme que comme un pas vers la gravitation universelle » : STEPHENSON Bruce, *Kepler’s Physical Astronomy*, Princeton, Princeton University Press, 1994.

8 « Tentamen de motuum cœlestium causis », *Acta Eruditorum*, fév. 1689, t. 6, p. 144-161. PEIFFER Jeanne, « Leibniz, Newton et leurs disciples », *Revue d'histoire des sciences*, 1989, t. 42, n° 3, p. 303-312. JULLIEN Vincent, « Le chemin de la lumière chez Newton et Leibniz », *Bulletin de la société d'études anglo-américaines des XVII^e et XVIII^e siècles*, 1992, n° 34, in DENIZOT Paul (dir.), « Éducation et savoir. Regard et vision », p. 147-168.

9 Sur le concept d'éther, cf. SANCHEZ Jean-Christophe, « Nature de l'espace interplanétaire de Copernic à Laplace, conception, composition et évolution du cosmos et de la matière cosmique », *Nacelles*, 2018, n° 4, <<http://revues.univ-tlse2.fr/pum/nacelles/index.php?id=485>>.

10 Selon les définitions du *Dictionnaire universel contenant généralement tous les mots françois, tant vieux que modernes, et les termes de toutes les sciences et des arts*, par FURETIÈRE Antoine (1690) : « Attraction, Action de ce qui attire » (vol. 1, n. p.) ; « Gravité, Poids, impression que fait un corps dur ou pesant, sur un plus léger, ou moins solide. Quand un corps est parvenu au centre de la terre, il perd sa gravité. En termes de Méchanique, on appelle Centre de gravité, le point qui le divise en deux parties également pesantes, en sorte que s'il était suspendu par là, il ne pencherait de côté ni d'autre. C'est par ce point que passe la ligne de direction qui vient du centre de la terre par les pieds, la base, et le soutien du corps grave, car il doit tomber nécessairement quand il est hors de cette ligne », (vol. 2, p. 197-199). Le *Dictionnaire de l'Académie française* (1694) ne donne aucune définition de ces deux termes.

11 MERTON Robert K., "Science, Technology and Society in Seventeenth Century England", *Osiris*, 1938, vol. 4, n° 2, p. 360-632.

12 BACHELARD Gaston, *La Formation de l'esprit scientifique*, Paris, J. Vrin, 1993 ; KOYRÉ Alexandre, *Études newtoniennes*, Gallimard, 1968 ; *Études d'histoire de la pensée scientifique*, Gallimard, Paris, 1985 ; *Du monde clos à l'univers infini*, Paris, Gallimard, 1988 ; KUHN Thomas, *La Structure des révolutions scientifiques*, Paris, Champs Flammarion, 1983.

13 « Nonobstant le grand mérite de cette philosophie [de Newton], et l'autorité universelle qu'elle a maintenant en Angleterre, elle ne s'y établit d'abord que fort lentement ; à peine le *Newtonianisme* eut-il d'abord dans toute la nation deux ou trois sectateurs : le cartésianisme et le léibinitianisme y re-gnoient dans toute leur force. », D'ALEMBERT, « NEWTONIANISME, s. m. ou Philosophie Newtonienne, (*Physiq.*) », in DIDEROT Denis, D'ALEMBERT Jean Le Rond, *Encyclopédie*, vol. 11, p. 122. SHANK John Bennet, *The Newton Wars*

and the Beginning of the French Enlightenment, Chicago, University Press of Chicago, 2008.

14 « Le mot d'attraction a effarouché les Esprits ; plusieurs ont craint de Voir renaître dans la Philosophie, la doctrine des qualités occultes. Mais c'est une justice qu'on doit rendre à M. Newton, il n'a jamais regardé l'attraction comme une explication de la pesanteur des corps les uns vers les autres : il a souvent averti ; qu'il n'employait ce terme que pour désigner un fait, et non point une cause ; qu'il ne l'employait que pour éviter les systèmes et les explications ; qu'il se pouvait même que cette tendance fût causée par quelque matière subtile qui sortirait des corps, et fût l'effet d'une véritable impulsion ; mais que quoique ce fût, c'était toujours un premier fait, dont on pouvait partir, pour expliquer les autres faits qui en dépendent. », MAUPERTUIS Pierre Louis Moreau (de), *Discours sur les différentes figures des astres ; d'où l'on tire des conjectures sur les Etoiles qui paraissent changer de grandeur ; et sur l'Anneau de Saturne avec une Exposition abrégée des Systèmes de M. Descartes et de M. Newton*, Paris, imp. Royale, 1732, p. 11-12.

15 *After dinner, the weather being warm, we went into the garden, and drank thea under the shade of some appletrees, only he, and myself. amidst other discourse, he told me, he was just in the same situation, as when formerly, the notion of gravitation came into his mind. "Why should that apple always descend perpendicularly to the ground," thought he to him self: occasion'd by the fall of an apple, as he sat in a comtemplative mood: "why should it not go sideways, or upwards? but constantly to the earths centre? assuredly, the reason is, that the earth draws it. there must be a drawing power in matter. & the sum of the drawing power in the matter of the earth must be in the earth center, not in any side of the earth. therefore does this apple fall perpendicularly, or toward the center. if matter thus draws matter; it must be in proportion of its quantity. therefore the apple draws the earth, as well as the earth draws the apple."*

That there is a power like that we here call gravity which extends its self thro' the universe & thus by degrees, he began to apply this property of gravitation to the motion of the earth, & of the heavenly bodys: to consider their distances, their magnitudes, thir periodical revolutions: to find out, that this property, conjointly with a progressive motion impressed on them in the beginning, perfectly solv'd thir circular courses; kept the planets from falling upon one another, or dropping all together into one center. & this he unfolded the Universe. this was the birth of those amazing discoverys, whereby he built philo-

sophy on a solid foundation, to the astonishment of all Europe. STUKELEY William, *Memoirs of Sir Isaac Newton's life, being some account of his family and chiefly of the junior part of his life*, Edited by A. Hastings White, MS/142, Royal Society Library, 1752, <<http://www.newtonproject.ox.ac.uk/view/texts/normalized/OTHE00001>>.

16 PALTER Robert (ed.), *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton: 1666-1996*, Cambridge (Mass), MIT Press, 1971.

17 La gravitation unifie la physique terrestre – chute des corps – et la physique céleste – attraction des corps du système solaire.

18 Wren préside la *Royal Society* de 1680 à 1682, il succède à Joseph Williamson et a pour continuateur John Hoskyns de 1682 à 1683. BENNETT J. A., “Hooke and Wren and the system of the World: Some points towards and historical account”, *The British Journal for the History of Science*, March 1975, vol. 8, n° 1, p. 32-61, DOI : <<https://doi.org/10.1017/S0007087400013698>>.

19 ROMAGNAN Jean-Pierre, « Robert Hooke et Isaac Newton : la pomme de la discorde », *Reflets de la Physique*, EDP sciences, 2014, 40, p. 20-23. Hooke a écrit à propos de la gravitation : *The System of the world* (1660) et lu, en 1666, devant la *Royal Society On gravity*.

20 *The history of the Royal Society of London...*, vol. 2, 1756, p. 90 et sq. Le texte est celui de la communication que Hooke a faite à la *Royal Society* le 23 mai 1666 et intitulé “A Statement of Planetary Movements as a Mechanical Problem”.

21 « De Vi Centrifuga », manuscrit de 1659 in *Œuvres complètes*, vol. xvi, p. 255-301 et *Discours de la Cause de la Pesanteur*, 1690, in, *Traité de la Lumière...*, Leide, P. Vander, 1690, p. 125-180. BERTOLONI MELI Domenico, “The relativization of Centrifugal Force”, *Isis*, March 1990, vol. 81, n° 1, p. 23-43.

22 Il n'est pas possible ici de développer la rivalité avec Newton et le rôle important jouait par Hooke : R. HOOKE, *Tercentennial studies*, édité par M. Cooper et M. Hunter, Aldershot, UK, Ashgate, 2006 ; ROMAGNAN Jean-Pierre, « Robert Hooke et Isaac Newton : la pomme de la discorde », art. cité, p. 20-23.

I have often wondered, why the planets should move about the sun according as to Copernicus's supposition, being not included in any solid orbs (which the ancients possibly for this reason might embrace) nor tied to it, as their center, by any visible strings; and neither depart from it beyond such a degree, nor yet move in a straight line, as all bodies, that have but one single impulse, ought to do: For a solid body, moved in a fluid towards any part, (unless it be protruded aside by some near impulse; or be impeded in that motion by some other obviating body; or that the medium, through which it is moved be supposed not equally penetrable every way) must persevere in its motion in a right line, and neither deflect this way nor that way from it. But all the celestial bodies, being regular solid bodies, and moved in a fluid, and yet moved in circular or elliptical lines, and not straight, must have some other cause, besides the first impressed impulse, that must bend their motion into that curve. And for the performance of this effect I cannot imagine any other likely cause besides these two: The first may be from an unequal density of the medium, thro' which the planetary body is to be moved; that is, if we suppose that part of the medium which is farthest from the center, or sun, to be more dense outward, than that which is more near, it will follow, that the direct motion will be always deflected inwards by the easier yielding of the inward, and the greater resistance of the outward part of that medium. This hath some probabilities attending it; as, that if the æther be somewhat of the nature of the air, 'tis rational, that that part, which is nearer the sun, the fountain of heat, should be most rarefied; and consequently that those, which are most remote, should be most dense: But there are other improbabilities, that attend this supposition, which being nothing to my present purpose I shall omit.

But the second cause of inflecting a direct motion into a curve may be from an attractive property of the body placed in the center, whereby it continually endeavours to attract or draw it to itself. For if such a principle be supposed, all the phenomena of the planets seem possible to be explained by the common principle of mechanic motions, and possibly the prosecuting this speculation may give us a true hypothesis of their motion, and from some few observations, their motions may be so far brought to a certainty, that we may be able to calculate them to the greatest exactness and certainty, that can be desired. (The history of the Royal Society of London..., op. cit., vol. 2, 1756, p. 91). Cet « Essai pour prouver le mouvement de la Terre » est un article publié dans les Philosophical Transactions et aussi sous la forme d'un fascicule : An Attempt to Prove the Motion of the Earth from Observations, made by Robert Hook[e] Fellow of the R. Society, London, printed for J. Martyn at the

bell in St. Pauls Church yard, 1674, <<https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1674.0007>>.

24 En conclusion de son article, Hooke énonce trois « *suppositions* » :

– « Premièrement, que tous les corps célestes, quels qu'ils soient, ont une attraction ou un pouvoir gravitationnel vers leurs propres centres [...] mais qu'ils attirent également tous les autres corps célestes qui se trouvent dans la sphère de leur attractivité. »

– « La deuxième supposition est la suivante : tous les corps, quels qu'ils soient, qui sont mis en mouvement direct et simple, continueront ainsi à avancer dans une ligne droite, jusqu'à ce qu'ils soient déviés et incurvés par d'autres pouvoirs effectifs en un mouvement, décrivant un cercle, une ellipse ou toute autre ligne courbe. »

– « La troisième supposition est que ces pouvoirs attractifs sont d'autant plus puissants dans leur action que les corps se trouvent plus proches de leurs propres Centres », art. cit., p. 27-28.

25 DIEHL PATTERSON Louise, "Hooke's Gravitation Theory and Its Influence on Newton. I: Hooke's Gravitation Theory", *Isis*, 1949, vol. 40, n° 4, p. 327-341 ; "Hooke's Gravitation Theory and Its Influence on Newton. II: The Insufficiency of the Traditional Estimate", *Isis*, 1950, vol. 41, n° 1, p. 32-45.

26 La correspondance entre Newton et Hooke a été étudiée par Jean Pelse-
neer et Alexandre Koyré : PELSENEER Jean, « Lettres inédites de Newton », *Osiris*, 1939, vol. 7, p. 523-555 ; KOYRÉ Alexandre, "An Unpublished Letter of Robert Hooke to Isaac Newton", *Isis*, 1952, vol. 43, n° 3, p. 312-337. Hooke et Newton se sont aussi affrontés, en 1672, dans le domaine de l'optique à propos de la lumière, sa nature (vibratoire) et l'éther (hypothétique support de la lumière). Sur l'éther : SANCHEZ Jean-Christophe, « Nature de l'espace interplanétaire de Copernic à Laplace : conception, composition et évolution du cosmos et de la matière cosmique », art. cit.

27 Les « grandes comètes » sont celles qui se distinguent par leur exceptionnelle brillance (en 1664, 1665, 1680, 1682 et 1686) et notamment C/1680 V1 qui est la plus « grande » du XVII^e siècle. Elle a été à l'origine de réminiscences de superstitions (un prodige aurait fait que l'image de la comète aurait été gravée sur un œuf à Rome...) mais aussi de nombreuses publications, telle la comédie *La Comète* écrite par Fontenelle et jouée à la Comédie-Française en 1681 ; elle a été peinte par Lieve Verschuler. Quant à celle de 1682, nous la connaissons désormais sous le nom de comète de Halley.

28 LASUE Jérémie, "How Comets and Asteroids Influenced Our Concept of 'Solar System' from Antiquity to the 19th Century", *Nacelles* [En ligne], Faire

système. Planètes, satellites, comètes, astéroïdes, ^{xvi}^e-^{xix}^e siècles, Dossier thématique / Thematic Section, mis à jour le 12/02/2020, URL : <<https://revues.univ-tlse2.fr:443/pum/nacelles/index.php?id=883>>.

29 Cassini et Halley se rencontrent en 1681 et 1682. Ils s'entretiennent notamment sur les comètes et Cassini fournit à Halley son opinion sur un mouvement circulaire et sur une révolution périodique autour du Soleil.

30 L'original de ce manuscrit est à ce jour perdu mais une copie est conservée dans les registres de la Royal Society et le contenu a été publié par Stephen Peter Rigaud dans *Historical Essay on the First Publication of Sir Isaac Newton's Principia*, Oxford, University Press, 1838, « Isaaci Newtoni propositiones de Motu », appendix, p. 1-19/p. 124-202. *De motu, De la gravitation, suivi de Du mouvement des corps*, trad de Marie-Françoise Biarnais et François De Gandt, Paris, Gallimard, 1995.

31 D'ALEMBERT Jean Le Rond, « NEWTONIANISME, s. m. ou Philosophie Newtonienne, (Physiq.) », art. cit. S'intéresser à la publication des différentes éditions des *Principia*, à leur diffusion ainsi qu'à leurs traductions permet de convoquer le champ de la production et de la diffusion des connaissances scientifiques dans un monde savant institutionnalisé et normalisé, ainsi que dans les milieux intellectuels du ^{xviii}^e siècle. Cf. JOVANOVIĆ Franck, REBOLLEDO-DHUIN Viera et VERDIER Norbert, « Histoire des sciences et histoire de l'édition : de quelle manière peuvent-elles se compléter ? », *Philosophia Scientiæ*, 2018, 22-1, p. 3-22. DOI : <[10.4000/philosophiascientiae.1317](https://doi.org/10.4000/philosophiascientiae.1317)>.

32 Une version numérisée de cette première édition est disponible sur le site de l'Université de Cambridge : <<https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/PR-ADV-B-00039-00001/1>>. Voir RIGAUD Stephen Peter, *Historical Essay on the First Publication of Sir Isaac Newton's Principia*, op. cit. FEINGOLD Mordechai et SVORENČÍK Andrej, "A preliminary census of copies of the first edition of Newton's Principia (1687)", *Annals of Science*, 2020, 77/3, p. 253-348, DOI : <[10.1080/00033790.2020.1808700](https://doi.org/10.1080/00033790.2020.1808700)>.

33 LICOPPE Christian, *La Formation de la pratique scientifique, le discours de l'expérience en France et en Angleterre (1630-1820)*, Paris, La Découverte, 1996.

34 Samuel Peppys (1633-1703) présida la Royal Society de 1684 à 1686. Newton exerça cette fonction de 1703 à 1727.

35 Cette édition, ainsi que les suivantes et les traductions, constitue la matière première du travail de l'historien et à ce titre s'y intéresser revêt une donc un intérêt historiographique et méthodologique.

36 La première édition fut imprimée à environ 400 exemplaires et assez rapidement Newton en avait annoté le contenu, prélude à une réédition.

37 Ce point apparaît dans sa correspondance avec Halley en novembre 1694.

38 *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, auctore Isaaco NEWTONO, eq. aur., editio tertia aucta & emendata, Londini, apud Guil. & John Innys, Regiæ Societatis typographos. MDCCXXVI. Illustrissimæ Societati Regali a Serenissimo Rege Carolo II, ad philosophiam promovendam fundatæ, et auspiciis Serenissimi Regis Georg II Florenti Tractatum hunc D.D.D.

39 KOYRÉ Alexandre et COHEN I. Bernard (assembled and edited by, with the assistance of WHITMAN Anne), *Isaac Newton's Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica. The third edition (1726) with variant readings. In two volumes*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press, 1972.

40 Cette seconde édition intervient neuf ans après la publication, en 1704, de *Opticks: or a Treatise of the Reflexions, Refractions Inflexions and Colours of Light. Also Two Treatises of the Species and magnitude of Curvilinear Figures*), ouvrage dont les idées scientifiques sont très largement favorablement accueillies par la communauté savante.

41 Stephen Peter Rigaud cite sur ce point une lettre de Charles-René Reyneau à William Jones : « J'avais vu, dans la première édition du savant et profond ouvrage des *Principes de la Philosophie Naturelle*, les belles applications qu'il y a fait de ses méthodes à découvrir tout ce qu'il y a de plus caché dans la nature. La seconde édition en est encore si rare ici, que je n'ai pu la voir que des instants par le moyen de ceux, qui ont enlevé ce qui en était venu d'abord. » (*op. cit.*, p. 106).

42 DUCHEYNE Steffen, "s Gravesande's Appropriation of Newton's Natural Philosophy, Part I: Epistemological and Theological Issues", *Centaurus*, Feb. 2014, 56-1, DOI : <[10.1111/1600-0498.12040](https://doi.org/10.1111/1600-0498.12040)> ; BESOUW Jip, "Willem Jacob 's Gravesande's Philosophical trajectory: 'between' Leibniz and Newton", *Intellectual History Review*, 2020, 1-26, DOI : <[10.1080/17496977.2020.1723930](https://doi.org/10.1080/17496977.2020.1723930)>.

43 Le texte est traduit et publié en anglais par Jean Théophile Desaguliers : GRAVESANDE G. J. 's, *Mathematical Elements of Natural Philosophy, Confirm'd by Experiments : or, an Introduction to Sir Isaac Newton's Philosophy*, 2 vol, London, J. Senex and J. Innys, 1726. Il est traduit en français par C. F. Roland de Virloys et publié à Paris en 1747.

- 44 GRAVESANDE G. J. 's, *Philosophiae Newtonianae Institutiones, in usus academicos*, Lugduni Batavorum, apud Petrum Vander, 1723.
- 45 NEWTON Isaac C., COHEN I. Bernard, WHITMAN Anne et BUDENZ Julia. "Translating the Principia", in, *The Principia: The Authoritative Translation and Guide: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, 1st ed., 26-42, University of California Press, 1999.
- 46 TOUZÉRY Mireille, « Émilie du Châtelet, un passeur scientifique au XVIII^e siècle », *La Revue pour l'histoire du CNRS*, [En ligne], 2008, n° 21, mis en ligne le 3 juillet 2010, DOI : <<https://doi.org/10.4000/histoire-cnrs.7752>> ; HERMANN Claudine, « La traduction et les commentaires des *Principia* de Newton par Émilie du Châtelet », *Bibnum* [En ligne], *Physique*, mis en ligne le 1^{er} octobre 2008, <<http://journals.openedition.org/bibnum/722>>.
- 47 Botaniste espagnol, c'est à Bogota qu'il traduit les *Principia* dont demeure le manuscrit, cf. ARBOLEDA Luis Carlos, « Sobre una traducción inédita de los *Principia* al castellano hecha por Mutis en Nueva Granada circa 1770 », *Quipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología*, México, 1987, n° 4, p. 291-313 ; « Las teorías de Copérnico y Newton en los estudios superiores del Virreinato de la Nueva Granada », *Quipu*, México, 1991, n° 8, p. 5-34. OROZCO-ECHEVERRI Sergio et MOLINA Sebastián, "José Celestino Mutis appropriation of Newton's experimental physics in New Granada (1761-1808)" (Original submission), *History of science; an annual review of literature, research and teaching*, 2019, n° 57, DOI : <[10.1177/0073275319827203](https://doi.org/10.1177/0073275319827203)>.
- 48 En langue allemande les *Principia* ne sont traduits qu'en 1872 par Jakob Philipp Wolfers (1803-1878) ! *Sir Isaac Newton's Mathematische Principien der Naturlehre – Mit Bemerkungen und Erläuterungen herausgegeben von Prof. Dr. J. Ph. Wolfers*. Verlag von Robert Oppenheim, Berlin, 1872.
- 49 *Journal des Sçavans* du lundi 2 août 1688, p. 153-154.
- 50 REY Anne-Lise, « La littérisation de la science newtonienne au XVIII^e siècle : une littérature pour les dames ? », *Littératures classiques*, mars 2014, n° 85, p. 303-326.
- 51 LE LAY Colette, *Les Livres de vulgarisation en astronomie (1686-1880)*, thèse de doctorat en Histoire, Philosophie et Sociologie des sciences, Centre François Viète, Université de Nantes, 2002 ; BENSANDE-VINCENT Bernadette, « Splendeurs et décadence de la vulgarisation scientifique », *Questions de communication*, 2010-17, p. 19-32. CHASSOT Fabrice, *Le Dialogue*

scientifique au XVIII^e siècle – Postérité de Fontenelle et vulgarisation des sciences, Paris, Classique Garnier, 2011.

52 Voltaire, en exil de 1726 à 1728 se trouve à Londres quand Newton meurt et consacre les 14^e, 15^e et 16^e de ses *Lettres philosophiques* à Descartes et Newton, au système de l'attraction et à l'optique de Newton. Lors de son séjour néerlandais de l'hiver 1736-1737, il rencontre s' Gravesande, dont il suit les cours à Leyde et qu'il consulte « sur la philosophie de Neuton » ; cf. JOLY Bernard, « Voltaire chimiste : l'influence des théories de Boerhaave sur sa doctrine du feu. », *Revue du Nord*, oct.-déc. 1995, t. 77, n° 312, p. 817-843, DOI : <<https://doi.org/10.3406/rnord.1995.5051>>. C'est à Amsterdam que Voltaire prépare et supervise la publication des *Éléments de la philosophie de Newton* (1738). L'année suivante le très cartésien Jean Banières publie l'*Examen et réfutation des Éléments de la philosophie de Newton de M. de Voltaire* (Paris, Lambert et Durand, 1739). Voir DE GANDT François (prés.), *Cirey dans la vie intellectuelle : La réception de Newton en France*, Oxford, Voltaire Foundation, 2001 ; LE RU Véronique, *Voltaire newtonien – Le combat d'un philosophe pour la science*, Paris, Vuibert-ADAPT, 2005.

53 ALGAROTTI Francesco, *Il Neutonianismo per le Dame*, Napoli (en réalité Venise), 1737 ; traduit en français par Dupéron de Castéra, *Le Newtonianisme pour les dames ou entretiens sur la lumière, sur les couleurs et sur l'attraction*, Paris, Montalant, 2 tomes, 1738.

54 REGNAULT Noël, *Lettre d'un physicien sur la Philosophie de Neuton, mise à la portée de tout le monde*, par M. de Voltaire, (Paris), 1738.

55 CASTEL Louis S. J., *Le Vrai Système de physique générale de M. Isaac Newton, exposé en parallèle avec celui de Descartes...*, Paris, Simon fils, 1743. Le père Castel est aussi l'auteur du *Traité de physique de la pesanteur universelle des corps*, 2 t., Paris, A. Cailleau, 1724. Castel est un des plus ardents opposants à la théorie newtonienne de la gravitation et élabore un système dans lequel tous les phénomènes astronomiques pourraient s'expliquer par deux principes : la gravité des corps, qui ferait tout tendre au repos, et l'activité des esprits, qui créerait incessamment le mouvement.

56 Ils publient, à Genève, *Isaaci Newtoni philosophiæ naturalis principia mathematica, perpetuis commentariis illustrata*, Barrillot et filii, 3 vol., 1739-1742.

57 ROLAND DE VIRLOYS Charles François, *Elémens de physique ou introduction à la philosophie de Newton par G. J. s' Gravesande*, 2 vol., Chez Charles-Antoine Jombert, A Paris, 1747.

58 PAULIAN Aimée-Henri S. J., *Traité de paix entre Descartes et Newton...*, Avignon, Veuve Girard, 2 vol., 1763, p. VI-VII. Sur Paulian, voir MULARD Pascal, *Aimé-Henri Paulian (1722-1802) et sa physique « Newto-Cartésienne » : l'optique newtonienne revisitée*, thèse de doctorat en Histoire des Sciences et Epistémologie, Bernard Maitte et de Robert Locqueneux (dir.), Université de Lille 1, 2015.

59 SANCHEZ Jean-Christophe, « De la figure de la Terre au siècle des Lumières : une querelle scientifique et la révolution newtonienne dans le royaume de France. », *Historiens et Géographes*, APHG, janv.-fév. 2010, n° 409, p. 253-267.

60 Âgé de 25 ans, il est reçu dans la très cartésienne Académie royale des sciences. Après cette admission, ses finances personnelles lui permettent de parcourir l'Europe. En Angleterre, il fréquente tout particulièrement Edmund Halley et adopte les théories de Newton, attitude novatrice pour un savant français. En 1728, il est reçu membre de la *Royal Society* et en 1731 il est pensionnaire de l'Académie des sciences. L'année suivante, il prononce son *Discours sur les différentes figures des astres* et publie un *Mémoire sur les lois d'attraction*.

61 MAUPERTUIS Pierre Louis Moreau de, *Discours sur les différentes figures des astres...*, *op. cit.*, p. 4-5.

62 La mission, dont les résultats confirment l'aplatissement de la Terre prévu par Newton ne parviennent qu'après ceux de la mission de Laponie (1737), est dirigée par Louis Godin (1704-1760), astronome et académicien des sciences, qui ne revient qu'en 1745, déclaré démissionnaire par l'Académie, il s'installe à Cadix : *Observations astronomiques au Pérou*, 2 vol., Paris, 1752. Pierre Bouguer rentre de l'expédition en 1744 : *La figure de la Terre, déterminée par les observations de Messieurs Bouguer, et de La Condamine, de l'Académie royale des sciences, envoyés par ordre du Roy au Pérou, pour observer aux environs de l'équateur, avec une Relation abrégée de ce voyage, qui contient la description du pays dans lequel les opérations ont été faites*, C.-A. Jombert, Paris, 1749. La Condamine, militaire de formation, entre à l'Académie en 1730 et a déjà effectué un voyage scientifique aux Échelles du Levant (1731-1732), rentre en France en 1745 : *Relation abrégée d'un voyage fait dans l'intérieur de l'Amérique méridionale depuis la côte de la mer du Sud jusqu'aux côtes du Brésil et de la Guyane, en descendant la rivière des Amazones*, lue à l'assemblée publique de l'Académie des sciences de Paris, le 28 avril 1745 ; *Journal du voyage fait par ordre du roi, à l'Equateur, servant*

d'introduction historique à la mesure des trois premiers degrés du méridien, Paris, De l'imprimerie royale, 1751.

63 La première source qui mentionne les idées de Newton, paraît en 1728 dans les *Paradojas físicas* du bénédictin Benito Jerónimo Feijoo et quatre ans plus tard, par un autre bénédictin, Martín Sarmiento dans *Demostración crítico-apologética*.

64 *That whenever a new Comet shall appear, we may be able to know, by comparing together the Elements, whether it be any of those which has appear'd before, and consequently to determine its Period, and the Axis of its Orbit, and to foretell its Return. And, indeed, there are many Things which make me believe that the Comet which Apian observ'd in the Year 1531 was the same with that which Kepler and Longomontanus took Notice of and describ'd in the Year 1607 and which I my self have seen return, and observ'd in the Year 1682.* (A Synopsis of the Astronomy of Comets, Londres, J. Senex, 1705, p. 21, <<https://library.si.edu/digital-library/book/synopsisofastron00hall>>).

65 *Astronomical Tables*, Londres, W. Innys, 1749. Cf. TATON René, « Clairaut et le retour de la "comète de Halley" en 1759 », *Astronomie*, 1986, vol. 100, p. 397-408.

66 Cette même année 1742 le très newtonien Maupertuis publie la *Lettre sur la Comète* [Paris, s.n.], où il écrit : « La Théorie qu'a trouvée M. Newton, qui enseigne à déterminer leurs Orbites, nous fera parvenir un jour à connoître avec exactitude le tems de leurs révolutions. », p. 105-106.

67 BRUNET Pierre, « La vie et l'œuvre de Clairaut (fin) », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 1953, t. 6, n° 1, p. 1-17. Article qui demeure un jalon historiographique éclairant dans un contexte de renouvellement intellectuel dans le champ de l'histoire des sciences et du newtonianisme.

68 Le 16 novembre 1757, Clairaut écrit à G. Morris, membre de la *Royal Society* et l'informe de ses travaux pour calculer le retour de la comète en prenant en compte les différentes perturbations des corps célestes sur son passage "*according to Sir Isaac's sentiments*" (« selon les sentiments de Sir Isaac [Newton] »). Pour effectuer les calculs, ils doivent prendre en compte les effets perturbateurs des planètes géantes Jupiter et Saturne sur la trajectoire de la comète et trouver une méthode pour solutionner le problème des trois corps (interaction gravitationnelle dans la trajectoire de trois corps célestes).

69 « Mémoire sur le retour de la comète de 1682, observé en 1759, avec les Éléments de son orbite pour cette dernière apparition par M. de La Lande »,

Mémoires de mathématique et de physique tirés des registres de l'Académie royale des Sciences de l'année MDCCLIX, p. 1-40. Toujours dans le domaine de l'astronomie mathématique la contribution de Joseph Louis Lagrange (1736-1813) apporte une contribution importante à la mécanique céleste newtonienne : reformulation de l'équation de Newton et équations de deuxième espèce.

70 MERLEAU-PONTY Jacques, « Laplace : un héros de la science "normale" », *La Recherche*, mars 1979, in, *La Recherche en histoire des sciences*, Paris, Le Seuil, 1983. HAHN Roger, *Le système du Monde : Pierre Simon Laplace. Un itinéraire dans la science*, Paris, Gallimard, 2004. DHOMBRES Jean, SOCHON Serge et DEBARBAT Suzanne, *Pierre-Simon de Laplace (1749-1827) : Le parcours d'un savant*, Paris, Hermann, Histoire des sciences, 2012.

71 Publication en cinq volumes entre 1799 et 1825 (1799, vol. 1 et 2 ; 1802, vol. 3 ; 1805, vol. 4 ; 1825, vol. 5).

72 Thomas S. Kuhn introduit le concept de « science normale » : « La science normale désigne la recherche solidement fondée sur un ou plusieurs accomplissements scientifiques passés, accomplissements que tel groupe de scientifiques considère comme suffisants pour fournir le point de départ d'autres travaux. » (KUHN T. S., *La Structure des révolutions scientifiques*, op. cit., p. 29).

73 Préface du *Traité de Mécanique céleste*, p. 1-2.

74 « NEWTONIANISME, s. m. ou Philosophie Newtonienne, (Physiq.) », *Encyclopédie*, op. cit., vol. 11, p. 125.

75 D'ALEMBERT Jean Le Rond, *Premiers textes de mécanique céleste 1747-1749*, CNRS Éditions, 2002.

76 LEQUEUX James, « La découverte de Neptune par Le Verrier (1846) », *Bibnum* [En ligne], *Physique*, mis en ligne le 01 juin 2010, <<http://journals.openedition.org/bibnum/692>>.

77 LEQUEUX James (trad.), « La planète Vulcain, une perspective américaine, traduction d'un article de William Shehan et Tony Misch », *L'Astronomie*, vol. 130, oct. 2016, p. 30-39.

78 La masse du Soleil modifie la courbure de l'espace et perturbe l'orbite de Mercure. T. Kuhn constate que lorsqu'un paradigme est dominant, il n'est pas réfutable. Les faits qui le contredisent sont considérés comme des anomalies et non pas comme des réfutations. Ainsi, à partir de l'exemple du newtonianisme, il montre que les irrégularités de l'orbite d'Uranus n'ont

nullement remis en cause la théorie ; au contraire, on a cherché à la confirmer en imaginant l'existence d'une planète alors inconnue qui perturbe l'orbite uranienne. C'est ainsi qu'Urbain Le Verrier découvre Neptune par le calcul. En revanche, les anomalies de l'orbite de Mercure ne peuvent pas être expliquées par la seule gravitation universelle. Le paradigme newtonien refuse cette réfutation. Il y a début de crise et c'est le paradigme suivant qui l'explique : la relativité d'Einstein. Lorsque les anomalies deviennent trop nombreuses et trop difficiles à occulter ou à nier, la science entre en période de crise. Il n'y a plus évolution, mais révolution.

79 CHARDIN Gabriel, *L'Insoutenable gravité de l'univers*, Paris, Le Pommier, 2018 ; DURING Élie, *Whitehead, une autre théorie de la gravitation*, Paris, Dunod, 2019.

RÉSUMÉS

Français

La publication, en 1687, des *Philosophiae naturalis principia mathematica* constitue un moment charnière dans la conceptualisation et la normalisation des sciences physiques. La théorie de la gravitation universelle s'inscrit dans le processus de mathématisation des sciences et est formulée par Isaac Newton par les trois lois du mouvement. L'unification des physiques terrestre – la chute des corps – et céleste – le mouvement des planètes – constitue une rupture fondamentale avec le paradigme aristotélicien, mais s'oppose aux concepts cartésiens qui proposent une autre physique. Les calculs du degré terrestre (1735-1745) et du retour de la comète observée en 1682 constituent des faits qui confirment la théorie de la gravité qui s'impose, tout en conservant le concept d'éther.

English

The publication in 1687 of the *Philosophiae naturalis principia mathematica* constitutes a pivotal moment in the conceptualization and normalization of the physical sciences. The theory of universal gravitation is part of the process of mathematizing science and is formulated by Isaac Newton by the three laws of motion. The unification of terrestrial physics – the fall of bodies – and celestial – the movement of the planets – constitutes a fundamental break with the Aristotelian paradigm but is opposed to Cartesian concepts which are proposing another physics. The calculations of the terrestrial degree (1735-1745) and of the return of the comet observed in 1682 constitute facts which confirm the theory of gravity which is imposed while retaining the concept of ether.

INDEX

Mots-clés

Newton, gravitation universelle, mécanique céleste, Principia/Principes, révolution scientifique, paradigme, science normale

Keywords

Newton, universal gravitation, celestial mechanics, Principia/Principles, scientific revolution, paradigm, normal science

AUTEUR

Jean-Christophe Sanchez

Agrégé et docteur en histoire moderne, inspecteur d'académie et inspecteur pédagogique régional en histoire-géographie, chargé de cours d'histoire moderne en licence bilingue (UT2J), chercheur associé au laboratoire FRAMESPA (UMR 5136), jsanchez@ac-toulouse.fr