

La traduction et les commentaires des *Principia* de Newton par Émilie du Châtelet

par Claudine Hermann, Professeure honoraire
au département de physique de l'École polytechnique,
Présidente d'honneur de l'association Femmes & Sciences

Le document historique commenté ici consiste en l'Introduction et le Chapitre 1 de *l'Exposition abrégée du Système du Monde et explication des principaux phénomènes astronomiques tirée des Principes de M. Newton*, écrit par Émilie du Châtelet et publié en 1759, après sa mort. Il vient à la suite de sa traduction en français, la seule existante jusqu'à ce jour, de l'ouvrage d'Isaac Newton, les *Principia*, fondateur de la Mécanique classique, dite newtonienne, qui prévaudra jusqu'au début du XX^{ème} siècle : les limites de validité de la mécanique classique seront fixées lorsque les concepts cinématiques et dynamiques seront révisés par Einstein dans sa théorie de la relativité en 1905, et lorsque la Mécanique classique sera supplantée par la Mécanique quantique pour la description des phénomènes à l'échelle atomique. L'extrait auquel nous nous intéressons ici s'adresse à un public éduqué mais non spécialiste. Nous l'avons choisi pour ses qualités de clarté et de synthèse et pour sa modernité, car il est proche, dans son esprit et son contenu, des présentations actuellement en vigueur dans les classes des lycées.

LES AUTEURS

Émilie du Châtelet

Gabrielle-Émilie Le Tonnelier de Breteuil, marquise du Châtelet (1706-1749) est probablement la femme scientifique française la plus connue du grand public, après bien sûr Marie Curie et Irène Joliot-Curie, ceci en particulier grâce aux efforts constants d'Elisabeth Badinter qui l'a fait revivre par un livre¹ et même par le scénario d'un téléfilm². Un colloque scientifique important s'est tenu en 2006 à l'occasion du tricentenaire de la naissance d'Émilie du Châtelet, il a mis

¹ Elisabeth Badinter, *Émilie, Émilie, l'ambition féminine au XVIII^{ème} siècle*, Flammarion, 1983 ; LGF/Livre de Poche, 2000

² *Divine Émilie*, France 3, 29 décembre 2007, 20h50, <http://television.telerama.fr/television/23520-Émilie-du-chatelet-femme-de-lumieres-ce-soir-sur-france.php>

en relief les différentes facettes de son talent et ses nombreux apports scientifiques³.

Émilie du Châtelet a suivi les leçons des plus grands scientifiques de son époque (Maupertuis, Clairaut, ...) et a été membre de l'Institut de Bologne. Elle a été la maîtresse de Voltaire, qui admirait ses talents de scientifique, l'encourageait et a travaillé en collaboration avec elle pendant plusieurs années dans ses activités en physique. Voltaire et elle ont participé, séparément, au concours de l'Académie des sciences sur la nature du feu (1738) : elle produisit une « Dissertation sur la nature et la propagation du feu ». Bien qu'aucun d'eux n'eût remporté l'un des trois prix, l'Académie reconnut la valeur de leurs travaux en faisant imprimer leurs deux contributions à la suite des travaux primés (1744). Émilie du Châtelet dédia à son fils les « Institutions de Physique » (1740), dans lesquelles elle développait de manière vulgarisée les théories de Leibniz. Elle a été engagée dans la polémique sur la forme de l'énergie cinétique (« forces vives ») et a mené des expériences pour prouver que les forces vives étaient proportionnelles au carré de la vitesse, et non à la vitesse comme le pensaient certains scientifiques à la suite de Descartes⁴.

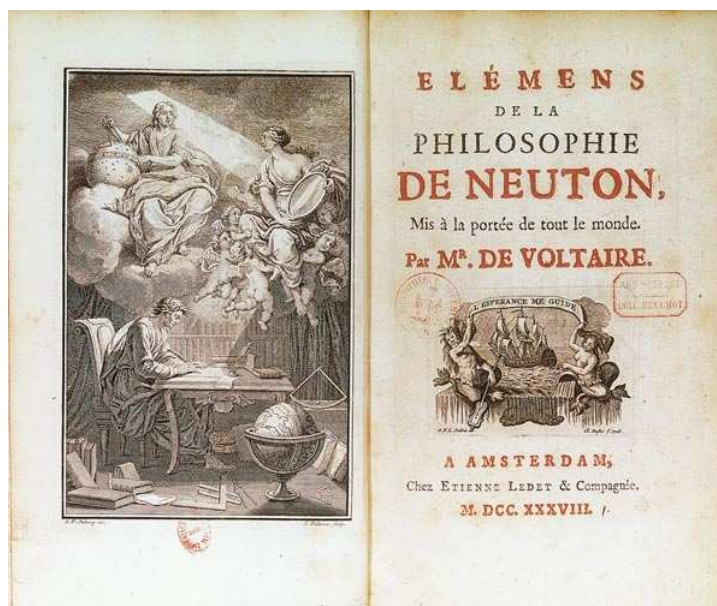


Figure 1 : Éléments de la philosophie de Newton mis à la portée de tout le monde, par Voltaire (1738)

³ *Émilie du Châtelet, éclairages et documents nouveaux*, Etudes réunies par Ulla Kölving et Olivier Courcelle, publications du Centre international d'étude du XVIII^{ème} siècle, mai 2008. Ce volume est issu du colloque qui s'est tenu du 1^{er} au 3 juin 2006 à la Bibliothèque nationale de France et à l'ancienne Mairie de Sceaux. Voir notamment le texte de Michel Toulmonde, pages 309-315.

<http://www.caphes.ens.fr/?p=154>

⁴ Dans ses *Institutions de Physique*, Émilie du Châtelet indique que c'est Leibniz qui a trouvé que les forces vives varient comme le carré de la vitesse et elle démontre cette dépendance p. 421 sur l'exemple de la pesanteur. [Texte accessible en ligne

<http://www.voltaireintegral.com/La%20Bibliotheque/Table1/Chatelet.htm>

Voltaire a beaucoup appris auprès d'Emile du Châtelet, ce qui lui a permis de publier cet ouvrage. Aussi, Mme Du Châtelet est représentée sur le frontispice de l'ouvrage, tenant en main un miroir qui reflète sur Voltaire, assis, la lumière venant d'en haut, derrière Newton (image BnF, exposition « Lumières ! », 2006, <http://expositions.bnf.fr/lumieres/grand/051.htm>).

Isaac Newton

Isaac Newton (1643-1727) a écrit *les Principia* en latin : la première édition parut en 1687, une seconde édition, avec corrections, en 1713, et une troisième, améliorée, en 1726. Une traduction anglaise a été publiée en 1729 après sa mort, mais en général c'est à l'édition latine de 1726 qu'il est fait référence. Le titre initial de l'ouvrage, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Principes mathématiques de la philosophie naturelle), fait référence à la « philosophie naturelle »⁵, expression qu'on remplacerait aujourd'hui par le mot « physique »⁶. Dans les trois Livres des *Principia*⁷, Newton pose les principes de base de la Mécanique classique, présente les lois d'attraction sous leur forme la plus générale, déduit de la forme elliptique des orbites de certains astres la loi de gravitation universelle en inverse du carré de la distance entre le centre attracteur et le corps attiré (voir sa formulation actuelle dans l'encart 1), applique ses résultats à des solides et des fluides. Il commence son Livre III par l'énoncé de quatre « Règles qu'il faut suivre dans l'étude de la physique », un guide pour la mise en œuvre de la méthode scientifique. Nous reviendrons sur deux d'entre elles un peu plus loin.

Interaction de gravitation

Voici la formulation actuelle – telle que développée dans un livre de première année de l'enseignement supérieur (*Mécanique I*, sous la direction de Jean-Marie Brébec, 1ère année MPSI-PCSI, PTSI, Collection Hachette supérieur, 1996, p. 49) – de la loi de gravitation universelle :

Deux points matériels P_1 et P_2 , de masses m_1 et m_2 , et distants de d , exercent l'un sur l'autre une force attractive, appelée force de gravitation, telle que

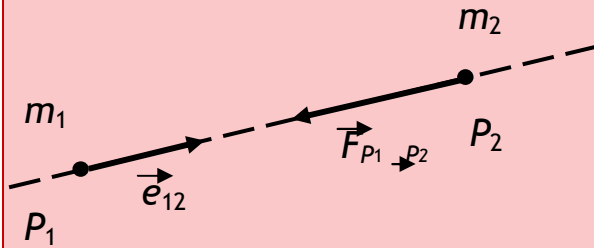
⁵ « La philosophie comprenait l'étude rationnelle de la nature (Sciences de la nature) et la théorie de l'action humaine (Sciences humaines) » (Petit Robert)

⁶ « Physique : (1708) « Science qui étudie les propriétés générales de la matière et établit des lois qui rendent compte des phénomènes matériels » (Petit Robert)

⁷ *Du mouvement des corps - Livre Premier ; Du mouvement des corps - Livre Second ; Du Système du Monde - Livre Troisième*

$$\vec{F}_{P_1 \rightarrow P_2} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{e}_{12}$$

$G=6,672.10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ est une constante universelle,
 \vec{e}_{12} le vecteur unitaire de l'axe $M_1 M_2$ orienté de M_1 vers M_2 .



Cette loi, dite de la gravitation universelle, a été formulée par Newton pour expliquer les orbites planétaires.

L'OUVRAGE D'ÉMILIE DU CHATELET

Pourquoi Émilie du Châtelet a-t-elle traduit Newton ?

Voltaire était exilé à Londres quand il assista aux funérailles de Newton en 1727 et commença alors à s'intéresser aux théories de ce physicien. L'intérêt de scientifiques français pour les théories de Newton, et en premier lieu de Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759), maître d'Émilie du Châtelet, devint important dans les années 1730, cependant que se développait une polémique entre « impulsionnaires » cartésiens et « attractionnaires » newtoniens (il faut garder à l'esprit que l'ensemble des scientifiques français n'a été convaincu par les théories de Newton qu'après le retour prévu de la comète de Halley en 1759). En 1736 Voltaire et Émilie du Châtelet étudiaient ensemble les œuvres de Newton, elle corrigeait les épreuves de la seconde édition de « Il newtonanismo per le dame » d'Algarotti⁸, Voltaire dédiait à Émilie du Châtelet son ouvrage « Eléments de la philosophie de Newton », qui fit connaître les travaux du physicien anglais au grand public français et connut un succès important.

⁸ Comte Francesco Algarotti (1712-1764), ami de Voltaire et de Frédéric le Grand. Son ouvrage de vulgarisation pour les dames sur l'œuvre de Newton connut un grand succès.



Figure 2 : Le comte Algarotti et la marquise du Châtelet.

Les conversations entre eux ont inspiré Algarotti – comme elles avaient inspiré Voltaire – pour son ouvrage paru en 1737. Ce dessin apparaît au frontispice du livre d'Algarotti (image BnF, exposition « Lumières ! », 2006, http://expositions.bnf.fr/lumieres/grand/emi_139.htm).

Émilie du Châtelet était donc familière de l'œuvre de Newton depuis des années. Elle pensait qu'elle n'avait pas de génie, mais elle se voulait médiatrice entre les grands savants et les hommes de culture à travers ses traductions et ses écrits. Elle maîtrisait remarquablement bien le latin et de plus était en mesure de comprendre la physique de Newton. Il est très probable que c'est le Père Jacquier, qui avait commenté – sans les traduire – les *Principia*, mais en maîtrisait moins bien le contenu scientifique, qui l'aurait encouragée à le faire⁹. En fait elle est allée bien au-delà d'une traduction fidèle et claire car son érudition et sa compréhension en profondeur des concepts lui ont permis, dans la partie de l'ouvrage qui suit la traduction des *Principia*, d'apporter une contribution personnelle originale et remarquable de modernité.

⁹ Elisabeth Badinter, communication personnelle. A noter qu'Émilie du Châtelet cite, page 21, le « *Commentaire sur la philosophie de Newton* » de son maître le Père Jacquier.

L'ouvrage publié en 1759

Émilie du Châtelet entreprend en 1745, seize ans après la troisième édition des *Principia*, leur traduction en français à partir du texte en latin, avec ses propres commentaires. A l'époque une traduction en français était utile au-delà du royaume de France car c'était la langue de communication des élites et des scientifiques. Par ailleurs, le latin manquait de mots pour expliciter les nouvelles « vérités mathématiques et physiques » : comme l'écrit Voltaire dans la Préface historique de l'ouvrage¹⁰,

Le français qui est la langue courante de l'Europe, et qui s'est enrichi de toutes ces expressions nouvelles et nécessaires, est beaucoup plus propre que le latin à répandre dans le monde toutes ces connaissances nouvelles.

Cette oeuvre gigantesque a occupé Émilie du Châtelet pendant les cinq dernières années de sa vie, jusqu'à sa mort prématurée ; elle en a d'ailleurs fait déposer le manuscrit à la Bibliothèque Royale la veille de son décès. Pour ses commentaires elle s'est inspirée des travaux de Clairaut. Celui-ci a relu le travail d'Émilie du Châtelet pour en assurer la publication posthume en 1756, l'ouvrage sous sa forme définitive paraissant en 1759. L'oeuvre publiée contient, après l'Avertissement de l'éditeur et la Préface historique (de Monsieur de Voltaire), la traduction des *Principia* par Émilie du Châtelet. On y trouve ensuite sa contribution personnelle sous le titre *Synthèse commentée et analyse des Principia par la marquise du Châtelet*, comprenant deux parties : *Exposition abrégée du Système du Monde et explication des principaux phénomènes astronomiques tirée des Principes de M. Newton*, suivie de *Solution analytique des principaux problèmes qui concernent le Système du Monde*. Émilie du Châtelet inclut dans son texte des références à des ouvrages scientifiques publiés jusque deux ans auparavant¹¹ - les relations scientifiques internationales étaient rapides au Siècle des Lumières ! - ainsi que des mises à jour, comme les résultats de Daniel Bernoulli dans le chapitre sur les marées. Elle utilise dans la seconde partie, *Solution analytique des principaux problèmes qui concernent le Système du Monde*, des démonstrations rigoureuses de calcul intégral, inspirées par les méthodes de Leibniz (1646-1716) ; bien que Newton se soit lui aussi

¹⁰ Page IX dans l'édition de 1759

¹¹ Parmi les ouvrages cités, l'oeuvre publiée en 1743 de Christian Wolf (1678-1754) *Elementa Matheseos Universae* dont le Tome III s'intitule *Elementa Astronomiae*.

intéressé au calcul des infiniment petits, ses démonstrations dans les *Principia* mettent en œuvre la géométrie.

L'extrait choisi : l'Introduction et le Chapitre 1

L'extrait proposé ici correspond à l'Introduction et au Chapitre 1, c'est-à-dire au début de l' *Exposition abrégée du Système du Monde...*, qui figure juste après la traduction proprement dite des *Principia*. Comme l'écrit l'éditeur dans sa Note¹²,

Ce commentaire [de la marquise du Châtelet] est lui-même divisé en deux parties, dans la première desquelles on expose de la manière la plus sensible les principaux phénomènes dépendant de l'attraction : ces découvertes, jusqu'à présent hérissées d'épines, seront désormais accessibles à tous les lecteurs capables de quelque attention, et qui auront de légères notions de mathématiques. A cette partie du commentaire en succède une plus savante. On y donne par analyse la solution des plus beaux problèmes du système du monde.

Effectivement, dans la première partie, le ton de Madame du Châtelet est celui de la vulgarisation scientifique, elle renvoie en notes de bas de page les explications un peu compliquées ou les définitions techniques : ainsi au Ch1-VII, VIII et IX elle introduit la définition de l'ellipse à partir du tracé des ovales par les jardiniers¹³, celles de l'aire, du « temps périodique », mais aussi de la tangente et de la concavité ; dans la note p.14 associée à Chapitre I-VIII sur les lois de Kepler elle explique par un exemple numérique, et non une définition générale, ce que signifie « sesquiplé », etc. Il est clair que cette partie s'adresse à des lecteurs instruits, mais qui ne sont pas spécialistes de mathématiques ou de physique.

LES APPORTS D'ÉMILIE DU CHATELET

Plutôt que de commenter l'extrait en suivant l'ordre du texte, nous allons chercher à montrer que l'approche d'Émilie du Châtelet est analogue à celle qui serait utilisée dans un manuel contemporain et qu'elle fait apparaître les étapes fondamentales d'une démarche scientifique : le contexte historique, les règles qu'il faut suivre dans l'étude de la physique, la primauté de l'observation, les observations et mesures du Soleil, des planètes et de leurs satellites, les lois

¹² Page II dans l'édition de 1759

¹³ « Espèce de courbe qui est la même qu'on appelle dans le langage ordinaire une ovale ; les foyers sont les deux points dans lesquels les jardiniers placent leurs piquets pour tracer cette espèce de figure, dont ils se servent souvent » (p.13)

empiriques de Kepler et les intuitions de Kepler et de Hooke, l'apport théorique de Newton et les résultats qui s'en déduisent.

Le contexte historique

L'Introduction présente l'historique des modèles astronomiques, en remontant avant les Babyloniens et Pythagore. Cette partie historique n'existe pas chez Newton, qui ne fait référence qu'à Kepler et ne parle pas des théories antérieures. Au Chapitre 1 *Principaux phénomènes du Système du Monde*, comme elle l'écrit au Ch1-I, Émilie du Châtelet « donne une idée abrégée de notre système planétaire », en se limitant à la description des phénomènes. Elle fait l'état des connaissances scientifiques les plus récentes sur cette question à l'époque où elle écrit.

Les règles qu'il faut suivre dans l'étude de la physique

La Règle Première énoncée par Newton dans le Livre III des *Principia*¹⁴

Il ne faut admettre de causes, que celles qui sont nécessaires pour expliquer les Phénomènes.

La nature ne fait rien en vain, et ce serait faire des choses inutiles que d'opérer par un plus grand nombre de causes ce qui peut se faire par un plus petit.

s'applique très clairement aux considérations d'Émilie du Châtelet sur le Système de Ptolémée dans l'Introduction-III :

aussi Ptolémée, et ceux qui depuis lui ont voulu soutenir cette opinion du repos de la Terre, ont-ils été obligés d'embarrasser les cieux de différents épicycles, et d'une quantité innombrable de cercles très difficiles à concevoir et à employer, car il n'y a rien de si difficile que de mettre l'erreur à la place de la vérité. (p.2)

¹⁴ Livre III p. 2 dans l'édition de 1759 de la marquise du Châtelet.

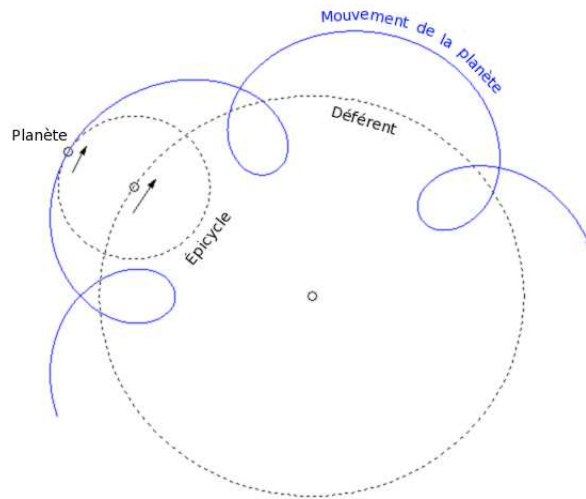


Figure 3 : schéma simplifié du système géocentrique de Ptolémée.
Les planètes tournent autour de la Terre dans un mouvement composé : la planète tourne sur un cercle dit épicycle, dont le centre tourne lui-même autour de la Terre.

Ce sentiment que l'explication correcte du fonctionnement du monde ne peut qu'être simple est à rapprocher des opinions de Galilée pour qui « tous s'accordent à penser qu'elle [la nature] ne met pas en œuvre beaucoup de moyens quand elle peut se contenter de peu »¹⁵. Cette idée perdure de nos jours, puisque les physiciens cherchent toujours à unifier toutes les grandes théories de la physique dans le cadre de la Grande Unification, la gravitation ayant jusqu'à présent « résisté ».

La Règle II de Newton¹⁶ stipule que

Les effets du même genre doivent toujours être attribués, autant qu'il est possible, à la même cause.

Ainsi la respiration de l'homme et celle des bêtes ; la chute d'une pierre en Europe et en Amérique ; la lumière du feu d'ici-bas et celle du Soleil ; la réflexion de la lumière sur la Terre et dans les Planètes, doivent être attribuées respectivement aux mêmes causes.

Alors qu'elle tient Kepler en très grande estime, Émilie du Châtelet lui reproche, dans l'Introduction-VII, de ne pas avoir tiré toutes les conséquences de ses deux lois :

... on trouve les semences du pouvoir attractif dans la Préface de son Commentaire sur la planète de Mars, et il va même jusqu'à dire que le

¹⁵ *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, trad. R. Fréreau avec le concours de F. De Gandt, Editions du Seuil, Paris 1992, p. 143, cité dans Madeleine Sonnevile et Danielle Fauque, *La gravitation*, Documents Actes et rapports pour l'éducation, Centre national de documentation pédagogique, Paris, 1997, p. 34.

¹⁶ Livre III p. 2 dans l'édition de 1759.

flux¹⁷ est l'effet de la gravité de l'eau vers la Lune ; mais il n'a pas tiré de ce principe ce qu'on aurait dû croire qu'un aussi grand homme que lui aurait tiré, car il donne ensuite dans son Épitome d'Astronomie une raison physique du mouvement des planètes tirée de principes tous différents.

La primauté de l'observation sur les croyances

La science avance en reconnaissant les erreurs du passé : Émilie du Châtelet débusque, en s'appuyant sur des observations et des réflexions logiques, la vision anthropocentrique ou géocentrique du monde, les dogmes et idées reçues. Elle égratigne aussi ceux qui mélangent science et dogme : dans la note p.21 du Ch1-XVI, elle se moque du Supérieur du père jésuite Scheiner :

[Scheiner] ayant été dire à son Supérieur qu'il avait découvert des taches dans le Soleil, celui -ci lui répondit gravement cela est impossible, j'ai lu deux ou trois fois Aristote, et je n'y ai rien trouvé de semblable.

Malgré son admiration pour d'autres travaux de ces « grands » savants, dans l'Introduction-X Émilie du Châtelet rapporte les étranges conceptions – pythagoriciennes – de Kepler et l'«*Idée bizarre de Hu[y]ghens* » sur les distances comparées des planètes. Elle souscrit au « Conseil très sage de Tycho[-Brahé] à Kepler »¹⁸ :

Tycho lui répondit qu'il lui conseillait de laisser là les spéculations tirées des premiers principes, et de s'appliquer plutôt à établir ses raisonnements sur le fondement solide des observations (p.7).

Dans l'Introduction-V elle fait l'éloge de « l'exactitude et la longue suite d'observations » de Tycho-Brahé, qui a permis à Kepler de « tirer son admirable théorie des mouvements des corps célestes ». Au Ch1-IX où elle expose les preuves du mouvement de la Terre, qui n'était pas encore admis par tous, elle conclut par un argument fort, la vérification expérimentale du mouvement de Vénus autour du Soleil et non autour de la Terre :

Aussi, disait Copernic, si vos yeux étaient assez bons, pour distinguer ses phases [de Vénus], vous les verriez ; et peut-être les astronomes trouveront-ils moyen quelque jour des les apercevoir.

¹⁷ Il s'agit de la marée, désignée auparavant par ce terme de « flux ».

¹⁸ Ces accroches figurent dans la marge, pour résumer le propos comme il était d'usage à l'époque. Ainsi, page 7, on trouve successivement « Etranges idées de Kepler », « Conseil très sage de Ticho à Kepler » et « Idée bizarre de Huyghens ».

Galilée est le premier qui ait vérifié cette prédiction de Copernic¹⁹, et chaque découverte qu'on a faite depuis lui sur le cours des astres, l'a confirmé (p.16)

Les observations et mesures sur le Soleil, les planètes et leurs satellites

Au Ch1-III à -V, à chaque affirmation d'une propriété des planètes répond une justification s'appuyant sur des faits expérimentaux : « Quelles sont les planètes inférieures et quel est leur arrangement. » « Comment on a découvert leur arrangement. »... « Les planètes sont des corps opaques. Comment on s'en est aperçu. »... Ces considérations sont de type souvent analogique, ou logique comme au Ch1-IX « Preuves du mouvement de la Terre », ou géométrique. Même si aujourd'hui ces modes de raisonnement paraissent aller de soi, ce n'était pas le cas à l'époque, puisque Newton avait jugé utile d'exprimer ses « Règles qu'il faut suivre dans l'étude de la physique ». Ainsi au Ch1-XV, à propos de la rotation des planètes sur elles-mêmes, Émilie du Châtelet s'appuie à nouveau sur la règle de l'analogie pour conclure que Mercure et Saturne « tournent sur leur centre comme les autres. » A propos de la Lune, certains astronomes n'avaient pas utilisé cette règle, puisqu'elle écrit au Ch1- XXVII :

On ne connaît point la forme de la partie de la surface de la Lune qui est de l'autre côté de son disque par rapport à nous, et il y a même des Astronomes qui veulent expliquer sa libration en donnant une forme conique à cette partie de sa surface que nous ne voyons point et qui nient sa rotation sur elle-même. (p.31)

Au Ch1-VI elle indique que le Soleil est un « corps de feu » et elle lui attribue une atmosphère au Ch1-XVIII. Dans sa « Dissertation sur la nature et la propagation du feu », elle suggérait que le feu et la lumière pourraient être de même nature.

Au Ch1-X à -XX, elle présente un ensemble de données, l'état des connaissances de l'époque, obtenues par observations ou mesures, sur les planètes et sur leurs satellites. Bien entendu, aujourd'hui, on connaît davantage de planètes (Uranus a été découverte en 1781, soit trente-deux ans après la mort d'Émilie du Châtelet ; Le Verrier a prévu par le calcul en 1846 l'existence de la planète Neptune, observée la même année par Galle) ; les satellites de Jupiter ne sont plus au nombre de 4 mais de plus de 60 aujourd'hui, ceux de Saturne ne sont plus 5 mais 34, et les passages des sondes Voyager en 1979, Galileo en

¹⁹ On sait que l'observation des phases de Vénus par Galilée a été un élément important en faveur de la théorie de Copernic.

1995 et 2003 et de la sonde Cassini ont permis d'en prendre de magnifiques photos auxquelles tout le monde peut avoir accès, dans les livres d'astronomie ou sur internet...

A l'époque d'Émilie du Châtelet, les instruments de mesure n'avaient pas la résolution de ceux d'aujourd'hui. Si certaines données comme les périodes ou les demis-grands axes des trajectoires nous semblent très bonnes, d'autres comme celles concernant la Lune, ou la valeur de la parallaxe de la Terre, ne correspondent pas aux chiffres actuels. Par ailleurs un certain nombre de coquilles d'impression subsistaient dans l'ouvrage imprimé en 1759²⁰ (et dans l'édition moderne de 2005-2006 qui en est une transcription et pourraient expliquer certaines valeurs erronées).

Lois empiriques de Kepler et intuitions de Kepler et Hooke

En Introduction-VI à -VIII sont d'abord énoncées les lois de Kepler : le caractère elliptique des orbites (première loi de Kepler), la proportionnalité entre aires et temps (deuxième loi), et la relation entre les périodes de révolutions (« temps périodiques ») et les distances (troisième loi). Ensuite elle indique que Kepler avait entrevu la force qui faisait décrire aux planètes leur orbite et avait écrit que « le flux est l'effet de la gravité de l'eau vers la Lune » ; que Hooke, douze ans avant Newton, avait suggéré un système du monde fondé sur trois suppositions : attraction réciproque des corps célestes, nécessité d'une force pour s'écarter du mouvement rectiligne uniforme, et forces attractives d'autant plus puissantes que le corps sur lequel elles agissent est plus près de leur centre. Elle précise que Newton a cité ce texte précurseur dans son livre posthume *De mundi systemate* (1731). Mais, comme elle l'indique en Introduction-XI,

M. Newton a eu sur Kepler l'avantage de profiter des lois du mouvement établies par Hu[y]ghens, et qu'il a poussé ²¹ beaucoup plus loin que lui (p.8)

L'apport théorique de Newton

Elle présente dans l'Introduction-XII à XVII le contenu des *Principia* et y résume l'apport théorique de Newton. Le Premier livre développe la théorie de la

²⁰ Michel Toulmonde, ouvrage cité en Note 3, p. 334-339.

²¹ On peut penser que c'est l'avantage que Newton a ainsi poussé (et non les lois), d'où l'orthographe.

gravitation avec ses solutions générales. En Introduction-XIV, Madame du Châtelet énonce les trois lois du mouvement établies par Newton, enseignées aujourd'hui encore au lycée²² :

1°. *Que tout corps persévère de lui-même [en l'absence de force] dans son état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite.*

2°. *Que le changement qui arrive dans le mouvement est toujours proportionnel à la force motrice, et se fait dans la direction de cette force.*

3°. *Que l'action et la réaction sont toujours égales et contraires. (p. 8)*

En Introduction-XVI, à propos du mouvement des corps dans les milieux résistants, elle précise :

Ce second livre, qui contient une théorie très profonde des fluides et des mouvements des corps qui y sont plongés, paraît avoir été destiné à détruire le système des tourbillons, quoique ce ne soit que dans le scholie²³ de la dernière proposition que M. Newton combat ouvertement Descartes, et qu'il fait voir que les mouvements célestes ne peuvent s'exécuter par des tourbillons²⁴. (p.9)

ce qu'elle résume ainsi en marge : « M. Newton a composé ce livre pour détruire les tourbillons de Descartes ». Cette remarque prend tout son sens dans le contexte de la polémique entre scientifiques français partisans de Descartes ou partisans de Newton à l'époque où Émilie du Châtelet écrit.

Sur ce sujet, elle conclut toutefois plus prudemment sa note Introduction-XVIII :

Au reste, je déclare ici, comme M. Newton l'a fait lui-même, qu'en me servant du mot attraction, je n'entends que la force qui fait tendre les corps vers un centre, sans prétendre assigner la cause à cette tendance. (p.10)

Les résultats déduits de la théorie de Newton

Elle passe rapidement, au Ch1-VII et -VIII, sur le fait que les comètes sont des planètes qui tournent autour du Soleil selon la loi de la gravitation, alors que Newton avait consacré un long développement à ce sujet, qui a permis ultérieurement la validation de sa théorie. Au Ch1-XIX, elle indique les masses et les densités du Soleil, de Jupiter, de Saturne et de la Terre, dont des satellites étaient connus, mais elle annonce qu'on verra au chapitre suivant pourquoi on ne

²² Avec une formulation plus moderne

²³ Un scholie est un remarque à propos d'un théorème ou d'une proposition (Petit Robert)

²⁴ Descartes exclut une action à distance du Soleil et considère que le mouvement des planètes est dû à de grands tourbillons d'éther remplissant tout l'espace, qui les emportent et les maintiennent sur leur trajectoire.

peut pas connaître ces grandeurs pour Mercure et Vénus, sans satellites, et Mars, dont les satellites ne seront découverts que plus tard. Ces déductions s'appuyant sur des données qui ne sont pas toujours en accord avec les données d'aujourd'hui, les masses et les densités fournies par Émilie du Châtelet ne sont pas à tenir pour exactes.

Une brève histoire de l'astronomie à travers le texte d'Émilie du Châtelet.

Tout au cours du texte, Émilie du Châtelet se livre à une véritable leçon d'astronomie en nous rappelant certains résultats importants :

- Page 12, la sphéricité de la terre : *« On juge que la terre est sphérique, parce que dans les éclipses son ombre paraît toujours terminée par une courbe ; que sur la mer on voit disparaître petit à petit un bateau qui s'éloigne, en sorte qu'on commence par perdre de vue le corps du vaisseau, puis les voiles, puis enfin les mâts ».*
- A propos des comètes, elle nous rappelle (page 3) un important résultat de Brahé *« Il a prouvé le premier par la parallaxe des comètes qu'elles remontent beaucoup au-dessus de la Lune ²⁵ »,* et que ce sont des planètes (page 14) *« il n'y a pas longtemps qu'on n'en doute plus, ce sont des planètes qui tournent autour du Soleil comme les autres corps de notre monde planétaire ».*
- Page 15, une belle explication de la rétrogradation des planètes supérieures, à l'appui de la théorie de Copernic, qui commence par : *« ces planètes nous paraissent tantôt directes, tantôt stationnaires et tantôt rétrogrades, toutes inégalités apparentes qui n'auraient pas lieu pour nous, si la terre était le centre des révolutions célestes ».*
- Page 22, le renflement de la terre à l'équateur : *« Ce mouvement des corps célestes autour de leur centre altère leur forme (...) [il] a dû élever les régions de l'équateur et abaisser celles des pôles, et changer par conséquent la forme sphérique en celle d'un sphéroïde aplati vers les pôles (...) Les mesures prises au cercle polaire, en France et à l'équateur²⁶, ont donné la proportion des axes de la terre environ de 173 à 174 »* (la différence relative de longueur entre un axe équatorial et un axe polaire de la Terre est

²⁵ On sait que Tycho Brahé, lors du passage d'une comète en 1577, en avait mesuré la position dans le ciel, et avait demandé à des astronomes européens d'en faire autant. Les très faibles différences de position (dues à la parallaxe) montraient que la comète était beaucoup plus éloignée de la Terre que ne l'était la Lune, contrairement à une croyance répandue jusqu'alors à propos des comètes.

²⁶ Les mesures au cercle polaire ont été effectuées par Maupertuis, le maître d'Émilie, en 1736-1737.

maintenant bien connue, elle est de $1/298$, valeur significativement inférieure à $1/174$).

- Enfin, pages 24 et 25, le mouvement de précession des équinoxes : « *il est si lent qu'il ne s'achève qu'en 25 920 années, il est d'un degré en 72 ans (...)* M. Newton a trouvé, comme on le verra dans la suite, la cause de ce mouvement dans l'attraction du Soleil et de la Lune, sur la protubérance de la Terre à l'équateur ».

COMPARAISON DE CETTE « LEÇON DE SCIENCE » AVEC LES COURS D'AUJOURD'HUI

La méthode scientifique

Une approche tout à fait analogue des problèmes physiques est proposée aujourd'hui dans l'enseignement secondaire (ce depuis le collège, même si on se limite à ce niveau aux lois empiriques, dont on montre déjà le caractère prédictif et donc l'intérêt de rechercher les relations entre les grandeurs physiques) : se fondant sur l'observation première d'où jaillit le questionnement, l'émission d'hypothèses va conduire à la conception et la réalisation d'expériences (ou à des observations, ou des lectures si l'expérimentation n'est pas possible...), la validation ou non des hypothèses, à la recherche de relations. L'utilisation de lois amène ensuite à des solutions analytiques qui sont alors confrontées à nouveau à l'expérience.... La différence est que, désormais, avec l'utilisation des ordinateurs, on peut résoudre des équations différentielles par des méthodes numériques quand elles ne peuvent être résolues par des méthodes analytiques.

Le contenu

Aujourd'hui les trois lois de Newton sont vues au lycée (voir encadré), avec des libellés un peu plus modernes que ceux du texte d'Émilie du Châtelet. Les cours actuels post-baccalauréat sur les interactions newtoniennes utilisent le concept d'énergie mécanique, qui n'était pas développé à l'époque d'Émilie²⁷. Celle-ci s'était cependant préoccupée de démontrer que l'énergie cinétique est proportionnelle au carré de la vitesse et non à la vitesse – mais ce n'était pas le sujet des *Principia*. L'approche énergétique, en usage aujourd'hui, a l'avantage de permettre d'aborder de manière analogue un problème de Mécanique

²⁷ Il faut se rappeler que les concepts d'énergie et de travail ne seront dégagés qu'au milieu du XIX^{ème} siècle.

classique (le mouvement des planètes autour du Soleil) et un problème de Mécanique quantique (la structure de l'atome d'hydrogène).

Lois de Newton et programmes actuels des lycées

- En seconde, la première loi de Newton (appelé Principe d'inertie) est abordée pour lutter contre la conception très aristotélicienne du mouvement (nécessité d'une force); on montre aux élèves que seuls les objets dont les mouvements ne sont pas rectilignes uniformes sont soumis à une résultante de forces non nulle, on introduit très qualitativement dans le cours que la variation de la vitesse se fait dans la direction de la force.
- En première, on va plus loin, en établissant la relation de proportionnalité entre le vecteur force et la variation du vecteur vitesse. Les trois lois de Newton sont énoncées.
- En terminale, disposant d'outils mathématiques suffisants (dérivées, intégrales, équations différentielles,...), on introduit le vecteur accélération et le Principe fondamental de la dynamique (expérience montrant que le facteur de proportionnalité entre force et accélération a la même valeur que la masse d'un objet mesurée à la balance), puis on établit les équations différentielles des mouvements et on les résout à l'aide des conditions initiales.

Les résultats que Newton et Émilie du Châtelet obtiennent sur l'attraction produite par un corps dont la masse est répartie uniformément en volume ressemblent à ceux présentés aujourd'hui en application du théorème de Gauss, à propos du champ électrique dans les cours d'Electrostatique ou du champ gravitationnel dans les cours de Mécanique. Mais Newton et Émilie du Châtelet ne pouvaient pas savoir que les forces électriques varient aussi en raison inverse du carré de la distance, la loi de Charles Augustin Coulomb (1736-1806) n'ayant été découverte qu'à la fin du XVIII^{ème} siècle.

La pédagogie

Dans sa présentation, Émilie du Châtelet suit l'ordre inverse de celui de Newton, qui va du cas général (loi d'attraction en puissance quelconque de la distance) à son application à différents cas particuliers (loi en inverse du carré de la distance, solides de différentes formes, masse en surface, en volume...). Elle commence par des explications générales synthétiques, plus accessibles, ensuite seulement aborde les calculs. Ceci ressemble à la partie : « Ce qu'on va

apprendre» en tête de chapitre des livres de classe actuels de physique de lycées ou de classes préparatoires. La synthèse comparative au Ch1-XX et XXI, qui est un résumé simplifié « en nombres ronds » des résultats précédents pour faciliter la compréhension de cette longue suite de données chiffrées, fait penser à « Ce qu'il faut retenir », qu'on trouve aujourd'hui en fin de chapitre.

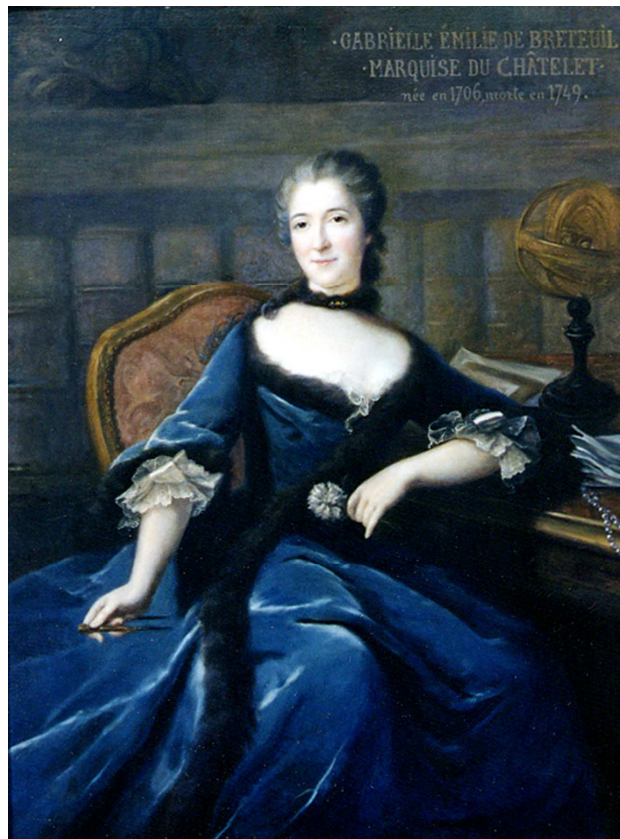


Figure 4 : Gabrielle Émilie Le Tonnelier de Breteuil, marquise du Châtelet (1706-1749)

(photo château de Breteuil, Choisel, Yvelines)

CONCLUSION

Émilie du Châtelet a traduit les *Principia*, en les maîtrisant tellement bien, tout comme d'autres ouvrages scientifiques, qu'elle a pu produire cet état des lieux des connaissances scientifiques de son époque sur l'astronomie. Elle le met, de manière fort agréable à lire, à la portée du grand public de son époque comme d'aujourd'hui. Elle y applique avec rigueur les règles de la pensée scientifique, qui n'étaient pas encore habituelles de son temps, n'avance rien sans justification, s'appuie chaque fois que cela est possible sur les observations. Elle adopte une position moins neutre que ne le font les scientifiques actuels, en particulier dans les livres de cours : elle critique certaines idées de Kepler ou de

Huyghens, elle prend parti contre les théories de Descartes, dénonce l'obscurantisme. Aujourd'hui encore, les enseignants doivent lutter contre la croyance des élèves en tout ce qui est écrit (et pas toujours vérifié), dans les medias ou sur internet, et ils doivent développer l'esprit critique chez les jeunes.

Le texte que nous avons choisi est dense en informations mais il reste qualitatif ; il est suivi, dans l'ouvrage de 1759, d'une seconde partie, *Solution analytique des principaux problèmes qui concernent le Système du Monde*, au calcul intégral rigoureux. Il est clair que la pratique et l'enseignement de la science comportent ces deux aspects, hier comme aujourd'hui : il faut éveiller l'intérêt et faire s'émerveiller l'auditoire non spécialiste pour qu'il aille vers la science. Mais pour entrer plus en profondeur dans une discipline, la technique, plus austère et réservée aux spécialistes, est indispensable. Dans l'extrait sélectionné on ne voit pas les démonstrations mathématiques et on ne peut évaluer leur difficulté. Les connaissances de géométrie, en particulier sur les propriétés des coniques, étaient bien meilleures au XVIII^{ème} siècle qu'aujourd'hui et Newton s'appuie beaucoup sur des démonstrations de géométrie. Émilie du Châtelet se sert d'une approche analytique et utilise, à la suite de Leibniz, le calcul différentiel qui, lui, nous est devenu plus familier.

Émilie du Châtelet nous apporte dans ses commentaires le regard du siècle des Lumières, avec une modernité étonnante ; si elle est « médiatrice » entre scientifiques et grand public éclairé, elle est aussi, après et comme Newton, pionnière de la pensée scientifique moderne et demeure en cela admirable. Pour terminer nous ne pouvons que souscrire à ce qu'écrit Voltaire dans sa préface de la traduction des *Principia* par Émilie du Châtelet²⁸ :

On a vu deux prodiges : l'un que Newton ait fait cet ouvrage ; l'autre qu'une dame l'ait traduit et l'ait éclairci.

Remerciements

Je remercie sincèrement Marie-Blanche Mauhourat (inspectrice d'académie, inspectrice pédagogique régionale (IA-IPR) détachée auprès de l'Agence pour l'Enseignement Français à l'Etranger (AEFE)), Alexandre Moatti, Madeleine Sonnevile (professeure honoraire de classes préparatoires en sciences physiques) et Michel Toulmonde (physicien et astronome, Université d'Evry et Observatoire de Paris) pour leur relecture attentive et leur contribution enrichissante à ce texte.
C.H.

²⁸ Page V dans l'édition de 1759.