

Les *Principia*
de Newton

Michel Blay

Les *Principia*
de Newton

DUNOD

Une précédente version a été publiée aux PUF en 1995

© Dunod, 2017 pour cette nouvelle édition

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISBN: 978-2-10-076916-2

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Avertissement

Les textes des *Principia* cités et analysés dans les pages suivantes s'appuient, sauf réserve particulière, sur la troisième édition (Londres, 1726). Cette édition a été republiée avec les variantes des deux premières par I. B. Cohen et A. Koyré sous le titre : *I. Newton, Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica: the Third Edition (1726) with Variant Readings* (Cambridge University Press, 1972). Nous utiliserons la traduction française de la marquise du Chastelet : *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* (Paris, 1756-1759 ; rééd. Blanchard, 1966 ; Gabay, 1989) ; par la suite *TMC 56*. Lorsque nous modifions cette traduction nous l'indiquons par la mention *TMC 56 M*.

Nous signalons également d'une part l'édition critique récente des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* de la marquise Du Chastelet par Michel Toulmonde, (Centre international d'étude du XVIII^e siècle, Ferney-Voltaire), d'autre part chez Dunod Éditeur une édition datant de 2011.

Avant-propos

Dans une lettre célèbre en date du 5 février 1676 adressée à Robert Hooke, Newton rappelle que s'il a vu si loin c'est, comme l'avait déjà dit Yves de Chartres au XII^e siècle, qu'il se tenait sur des épaules de géants :

If I have seen further it is by standing on the shoulders of Giants.

Nouveautés conceptuelles, synthèses, exigence d'organisation déductive. C'est dans ces trois caractérisations que gît le sens du travail créateur de Newton.

Nouveauté conceptuelle assurément lorsqu'il s'agit de mathématiser les phénomènes de la couleur ou d'introduire la gravitation universelle ; synthèse des travaux antérieurs de Galilée et de Christiaan Huygens en particulier lorsqu'il s'agit du développement de la science du mouvement, mais aussi exigence d'organisation déductive lorsqu'il s'agit de dégager en toute clarté les principes et les concepts à partir desquels est rédigé le premier véritable traité de mécanique rationnelle : *Philosophia Naturalis Principia Mathematica* (Londres, 1687).

C'est autour de ce livre, moment essentiel de la pensée newtonienne et de la constitution d'une science mathématisée du mouvement, que s'ordonnent les quatre parties de cette brève étude.

La première vise à présenter cursivement les grandes étapes préparant le travail proprement newtonien ; l'analyse de celui-ci occupe les deuxième et troisième parties, tandis que la quatrième s'attache à montrer comment l'œuvre

newtonienne s'est trouvée très rapidement, du moins sur le continent, renouvelée et enrichie ; et cela, en raison principalement de la mise en œuvre des procédures algorithmiques du calcul différentiel et intégral (introduites à partir de 1684 par G. W. Leibniz), associées à une réflexion sur les principes fondamentaux de la science du mouvement.

I

La nouvelle science du mouvement

C'est au début des années 1660 qu'Isaac Newton (1642-1727) entre dans la période la plus créative de son existence. Cette période culmine en 1665-1666 au cours de ce qu'il est convenu d'appeler maintenant l'*Annus Mirabilis*. La réflexion newtonienne s'enracine alors profondément dans le travail effectué depuis quelques décennies par les savants qui ont renouvelé l'approche traditionnelle, d'esprit essentiellement aristotélicien, des phénomènes de la nature : René Descartes (1596-1650), Galileo Galilei (1564-1642), Pierre Gassendi (1592-1655), Christiaan Huygens (1629-1695), Blaise Pascal (1623-1662), Robert Boyle (1627-1691), Robert Hooke (1635-1703), pour ne rappeler que quelques noms.

La science du mouvement n'échappe pas à ces profondes transformations : Galilée en publiant à Leyde en 1638 ses *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*¹ a véritablement ouvert une nouvelle ère pour la science du mouvement.

C'est en effet dans ce livre que le savant italien, en formulant la loi de chute des graves, donne à la science du mouvement et, plus généralement, en redoublant les

1. Galilée, *Opere*, éd. nationale italienne par Favaro et Longo, 20 vol., Florence, 1890-1909, VIII, 43-313 ; trad. franc., par M. Clavelin, *Discours concernant deux sciences nouvelles*, Paris, A. Colin, 1970, rééd. Paris, PUF, 1995.

efforts archimédiens, à la physique mathématique, un élan qui s'amplifiera au cours de la deuxième partie du siècle pour culminer en 1687 avec les *Principia* de Newton. Nous n'en sommes pas encore là! Entre ces deux dates, 1638 et 1687, il aura fallu non seulement comprendre le mouvement de chute des graves, mais aussi celui de la pierre qui tourne dans la fronde; il aura fallu aussi mettre en ordre le savoir sur le mouvement, dégager les premiers principes, clarifier les démarches mathématiques, en un mot donner une existence mathématique à la science du mouvement.

Mais ce n'est pas tout, car entre ces deux dates les esprits auront dû aussi se préparer à l'abandon définitif du cosmos hiérarchisé aristotélicien et à son remplacement par un univers homogène pour lequel les lois sont les mêmes sur la terre comme au ciel.

Newton est au lieu de l'accomplissement et du dépassement.

La géométrisation du mouvement des graves

La construction galiléenne

Galilée, exilé dans sa résidence surveillée de la côte de San Giorgio à Arcetri depuis son deuxième procès en 1633, y rédige son plus bel ouvrage: les *Discorsi (Discours)*. Il donne à ces *Discours* la forme d'un dialogue entre trois intervenants: Salviati, l'ami et le porte-parole, Sagredo, l'honnête homme pour qui la démonstration et l'expérience ont la priorité sur le savoir livresque, et Simplicio, le représentant des savants officiels et le défenseur des thèses de la scolastique. Les discussions entre ces trois personnages couvrent quatre journées.

Le titre de l'ouvrage galiléen mentionne « deux sciences nouvelles ». Si la seconde est bien celle du mouvement, la première dont traite Galilée est celle de la résistance des matériaux. Cette science mérite parfaitement ici son appellation de nouvelle. En effet, dans la première journée, Galilée inaugure une approche du problème de la cohésion des solides qui le conduit à introduire entre autres l'hypothèse d'une multitude de petits vides intercalaires susceptibles de favoriser le contact en s'opposant à la séparation des différentes parties. Il unifie ensuite, dans la deuxième journée, autour du levier, par la notion de moment, l'étude du problème de la résistance à la rupture des poutres, prismes, etc. : « Pour cette recherche je prendrai comme principe bien connu ce qui se démontre en mécanique parmi les propriétés du levier, savoir que la force est à la résistance dans un rapport inverse de celui de leurs distances vis-à-vis du point d'appui. »²

Le traitement de ces questions, inspirées à Galilée par les échanges qu'il a pu avoir avec les hommes de l'Art des arsenaux de Venise, dépasse largement, surtout si l'on tient compte des phénomènes de déformations élastiques, les possibilités offertes par les connaissances mathématiques et techniques de l'époque. Ces travaux ne connaîtront une réelle extension qu'au tournant des XVII^e et XVIII^e siècles, après Newton, avec l'introduction des procédures du calcul différentiel et intégral. Ce nouveau calcul permet de décrire, contrairement à la géométrie et comme en témoignent les limites des recherches galiléennes, ce qui constitue le cœur de ces problèmes à savoir le phénomène de l'élasticité et de la déformation avant la rupture.

2. *Opere*, VIII, p. 152; *Discours*, p. 91.

C'est la deuxième des sciences nouvelles qui assure rapidement à Galilée le succès de son ouvrage. Elle se rapporte à l'étude des mouvements rectilignes uniformes et uniformément (ou naturellement) accélérés, ainsi qu'à la possibilité de leur composition dans l'étude des trajectoires décrites par les projectiles.

Dès le *xiv*^e siècle William Heytesbury (fl. 1330-1371), Thomas Bradwardine (c. 1290-1349) ou Nicole Oresme (1323?-1382) ont su, dans le cadre de la doctrine de la latitude des formes, caractériser mathématiquement le mouvement uniformément accéléré; cependant l'innovation conceptuelle galiléenne est radicale.

Il ne s'agit pas pour Galilée dans les *Discours* d'aborder le mouvement uniformément accéléré comme un simple exercice de mathématique, mais de résoudre les problèmes ayant trait à ce mouvement en affirmant simultanément que c'est d'un tel mouvement que sont animés tous les corps en chute naturelle libre. Or, cette affirmation est loin d'aller de soi. En effet, le mouvement naturel libre offre à nos regards une diversité si riche qu'il est difficile d'imaginer qu'une science de ce mouvement puisse être possible. Une même loi du mouvement peut-elle régir à la fois le mouvement de la plume qui virevolte et celui de la bille de plomb qui tombe rapidement?

C'est précisément dans l'obtention d'une telle loi que réside l'apport essentiel de Galilée à la théorie du mouvement des graves. La démarche galiléenne, remarquablement analysée par Maurice Clavelin dans sa *Philosophie naturelle de Galilée*³, consiste tout d'abord, dans la première journée, à mettre au jour par un passage à la limite ou plutôt à

3. M. Clavelin, *La philosophie naturelle de Galilée*, Paris, A. Colin, 1968, rééd., Paris, Albin Michel, 1996; principalement chap. VII.