

Encyclopædia Universalis, vol. 12, 1995, p. 315-317. Repris dans *Encyclopædia Universalis*, *Dictionnaire des philosophes*, Encyclopædia Universalis/ Albin Michel, Paris, 1998, p. 1111-1118 ; repris dans *Encyclopædia Universalis*, *Dictionnaire de l'Astronomie*, Encyclopædia Universalis/ Albin Michel, Paris, 1999, p. 642-650.

NEWTON, ISAAC (1642-1727)

Introduction

1- Biographie

2 - 1676: l'annus mirabilis

3 - L'oeuvre mathématique et le calcul des fluxions

4 - L'optique

5 - La gravitation universelle et les *Principia*

6 - La philosophie naturelle

7 - Théologie et alchimie

8 - La diffusion de l'oeuvre et la postérité de Newton

Bibliographie

INTRODUCTION

L'oeuvre de Newton est sans aucun doute le plus grand monument de la science moderne telle qu'elle s'est constituée après la Renaissance, venant couronner les travaux exceptionnellement riches d'une pléiade de mathématiciens et de physiciens de génie. On pourrait généraliser la remarque qu'il fit lui-même à propos des recherches en optique de Descartes, Hooke et Boyle, dont il s'inspira: "Si j'ai vu plus loin, c'est parce que j'étais assis sur les épaules de géants". Cette oeuvre inaugura, par ses synthèses magistrales, une nouvelle ère de la pensée scientifique qui dura plus de deux siècles, et dont la science contemporaine est encore largement l'héritière, même après les nombreux bouleversements survenus en mathématiques et en physique. Les autres sciences s'en inspirèrent également pour formuler les normes de scientificité dont elles avaient besoin pour s'établir, et la philosophie s'appuya sur elle dans son projet de fonder une nouvelle intelligibilité rationnelle post-cartésienne.

Newton fut mathématicien et astronome aussi bien que physicien et mécanicien, expérimentateur aussi bien que théoricien. Il renouvela l'analyse et la géométrie en inventant le calcul différentiel et intégral dont il partage la paternité avec Leibniz. Son analyse expérimentale et théorique des propriétés physiques de la lumière et des couleurs ouvrit un nouveau domaine, l'optique physique, riche de perspectives sur la constitution de la matière. Il unifia les lois de Képler en astronomie et celles de la mécanique terrestre de Galilée en fondant la mécanique rationnelle par une définition précise de ses concepts fondamentaux (espace, temps, masse, force, accélération), par l'énoncé des lois générales du mouvement et la formulation mathématique des lois particulières, locales et instantanées (c'est-à-dire causales), pour des forces données, et en établissant sa théorie de la gravitation universelle.

Newton concevait sa physique comme partie prenante d'une "philosophie naturelle", imprégnée de l'idée d'un Dieu créateur immanent, qui n'est peut-être pas exactement le "Grand Horloger" qu'y verra Voltaire, car il est avant tout "le Seigneur". Et son "serviteur", marqué par les idées néo-platoniciennes, fut par ailleurs préoccupé d'exégèse biblique, de théologie et d'alchimie, qui participaient à ses yeux de la recherche de la vérité au même titre que ses travaux en mathématiques et en physique. De ces derniers, il devait dire, à la fin de sa vie : "Je me fais à moi-même l'effet d'un enfant qui a passé sa vie à jouer sur le rivage, se divertissant de trouver ici et là un galet plus poli ou un coquillage plus beau que d'ordinaire, tandis que le grand océan de la vérité s'étend tout entier inconnu devant lui".

1- BIOGRAPHIE

Né le 25 décembre 1642, quelques mois après le décès de son père, d'une famille de petits propriétaires terriens, Isaac Newton fut un enfant de santé fragile. Sa mère Hannah le confia, lors de son remariage avec un pasteur anglican, quand Isaac avait trois ans, à sa grand-mère et à son oncle, auprès desquels il passa ses années de jeunesse dans la maison familiale, dans le hameau de Woolsthorpe, près de Grantham, dans le Lincolnshire. Son caractère se ressentit de cette situation et il éprouva du ressentiment à l'égard de sa mère et de son beau-père. Plus tard, il ne connut pas de femme et ne se maria jamais. De cette période, on ne retient pas de

traits particuliers de la personnalité du jeune Isaac, sinon une prédilection pour les constructions mécaniques et une grande habileté manuelle.

Sa mère le rappela à la maison familiale, en 1653, à la mort du révérend, et voulut faire de son fils un fermier. Mais il n'en avait aucune vocation et plusieurs personnes de son entourage l'encouragèrent à se préparer pour entreprendre des études universitaires, ce qu'il fit à l'école du comté. Quelques années plus tard, en 1661, Newton entra au Trinity College de Cambridge où il fit ses études supérieures, devenant *Bachelor of Arts* en juin 1665. Il apprit la rhétorique scolastique et la logique aristotélicienne, reçut les leçons d'Isaac Barrow, s'imprégna des idées de l'école des néo-platoniciens de Cambridge, à laquelle appartenait Barrow et dont Henry More était le chef de file. Parmi ses lectures de cette époque, on retiendra notamment la *Dioptrique* de Képler, les *Dialogues* et le *Siderius Nuncius* de Galilée, l'exposé de l'astronomie copernicienne écrit par Gassendi, les *Eléments* d'Euclide, la *Géométrie* et, plus tard, les *Principes de philosophie*, de Descartes, l'*Arithmétique des infinis* de Wallis, la *Micrographie* de Hooke.

L'épidémie de peste ayant causé la fermeture de l'Université, il mit à profit son séjour de dix-huit mois dans le Lincolnshire pour se livrer à la réflexion et à la recherche, posant les jalons de son oeuvre scientifique.

En octobre 1667, Newton fut élu *Fellow* du Trinity College, obtint le *Master of Arts* en 1668 et fut nommé "professeur lucasien" en 1669, à l'âge de 26 ans, succédant à son maître Isaac Barrow. En 1672, il devint membre de la *Royal Society*. Il entretint au long de sa vie une correspondance avec des savants et philosophes importants de Grande-Bretagne et du continent tels que Robert Boyle, John Collins, John Flamsteed, David Gregory, qui fut son élève, Christiaan Huygens, Edmund Halley, Robert Hooke, Gottfried Wilhelm Leibniz, John Wallis, ainsi qu'avec des philosophes comme Henry More, Richard Bentley, John Locke, qui fut son ami. Il fut nommé en 1696 directeur de la Monnaie ("*Warden of the Mint*").

Il y utilisa ses connaissances de chimie pour contrôler le titrage des alliages et pour confondre les faussaires, que sa fonction administrative le chargeait de démasquer et de poursuivre.

Associé étranger de l'Académie des sciences de Paris en 1699, président de la *Royal Society* de 1703 à sa mort, il fut ennobli par la reine en 1705. La fin de sa vie fut marquée par de vives controverses, dont celles avec Leibniz: l'une sur des questions de philosophie et de théologie, par Samuel Clarke interposé, l'autre sur la priorité quant à l'invention du calcul infinitésimal ou différentiel. Il fut intransigent et impitoyable dans cette dispute, n'hésitant pas à rédiger lui-même, tout en le prétendant oeuvre impartiale de la *Royal Society*, le *Commercium epistolicum*, et à modifier quelques passages des *Principia* sur la seconde édition pour renforcer sa revendication de priorité.

Isaac Newton mourut à Londres le 20 mars 1727, à l'âge de 85 ans.

2 - 1665 ET 1666: LES ANNEES MERVEILLEUSES

Newton s'est souvenu de l'année 1666 - il avait vingt deux ans - comme de la période la plus créative de sa vie, son *annus mirabilis*: "J'étais alors dans la fleur de mon âge pour l'invention et me consacrais aux mathématiques et à la philosophie plus que je ne l'ai jamais fait depuis". C'est, en réalité, au cours des

deux années 1665 et 1666, dans sa retraite forcée à la campagne entrecoupée de rares et brefs séjours à son *College* de Cambridge, que lui vinrent les idées si fécondes, encore en partie intuitives, qu'il devait mûrir progressivement et développer par la suite dans son oeuvre, en mathématiques, en optique, en astronomie théorique : ses carnets de notes conservent des traces précises de tout ce travail lentement élaboré, objet de constants remaniements, dont il ne publia les résultats que tardivement et avec parcimonie.

Il découvrit le développement en série du binôme, puis développa la méthode des séries infinies pour la quadrature de fonctions. L'étude des séries infinies et la construction de figures par le mouvement de points ou de lignes le conduisit à formuler la règle de différenciation d'une fonction d'une variable sujette à un accroissement infinitésimal, inventant ainsi le calcul des fluxions, qui est la version newtonienne du calcul différentiel. Il l'appliqua aussitôt à l'étude des tangentes et des courbures ainsi qu'aux problèmes inverses de quadratures et de rectification des courbes (c'est-à-dire à l'intégration).

Travaillant, dans la suite de Képler et de Descartes, à la recherche des dioptries parfaits par la taille et le polissage de lentilles non sphériques, il se rendit compte de la persistance d'une aberration chromatique importante, même lorsque l'aberration sphérique est sensiblement diminuée. Il effectua alors ses observations sur la lumière du Soleil à l'aide de prismes, par lesquelles il conclut au caractère composite de la lumière blanche, et à l'inégale réfrangibilité des rayons de couleurs différentes. Il conçut ensuite l'idée du télescope à réflexion pour éviter les limitations de la lunette dues à la dispersion chromatique.

Il eut, selon son propre récit, l'idée de la gravitation universelle en voyant tomber une pomme et en pensant que, de même, la Lune tombe sur la Terre mais en est empêchée en même temps par son mouvement propre (d'inertie). Rapprochant la troisième loi de Képler (qui relie les périodes des planètes à leurs distances au centre) et la loi de la force centrifuge, il formula la loi de l'inverse carré des distances pour la force centripète qui agit sur les planètes; mais la valeur du rayon terrestre alors disponible ne lui permit pas de démontrer la validité de sa théorie par l'accord entre la chute libre d'un objet sur Terre et le mouvement de la Lune. On ignore si ce fut là l'unique raison du délai de vingt ans qui sépare la conception de son idée fondamentale et sa publication dans les *Principia*. sans doute lui fallait-il aussi l'étayer sur de plus amples développements mathématiques et physiques requis par l'étude précise des lois du mouvement.

Toute l'oeuvre scientifique de Newton se présente comme l'explicitation et la continuation directe de ces idées qui allaient renouveler les mathématiques et créer la mécanique rationnelle, l'optique physique et l'astronomie mathématique.

3 - L'ŒUVRE MATHÉMATIQUE ET LE CALCUL DES FLUXIONS

L'intérêt de Newton pour les mathématiques semble s'être éveillé en 1664, à la faveur de lectures telles que la *Géométrie* de Descartes et l'*Arithmétique des infinis* de Wallis. Si Barrow eut un rôle de stimulation, il faut assurément attribuer l'inspiration décisive pour l'invention du calcul infinitésimal à la lignée de mathématiciens qui va de Descartes à Fermat - et sa méthode des *maxima* et des *minima* des courbes -, Pascal, Roberval, Torricelli, Cavalieri, Wallis et James Gregory.

La découverte, en 1665, du développement en série du binôme : $(a+b)^n = a^n + C_{n-1}^1 a^{n-1}b + \dots + C_n^q a^{n-q}b^q + \dots + C_{n-1}^1 ab^{n-1} + b^n$ (n étant quelconque, entier ou fractionnaire), lui permit d'exprimer en séries les fractions et les racines de polynômes. Calculant les aires du cercle et de l'hyperbole à l'aide de la méthode des indivisibles, il lui vint l'idée de remplacer la borne supérieure de la sommation par une variable libre, x , et de développer l'ordonnée d'une courbe exprimée en fonction de l'abscisse en série de puissances croissantes de cette variable. Il effectua ainsi la quadrature de plusieurs fonctions, et découvrit la méthode des séries infinies, traitées par les opérations utilisées pour les nombres, qui lui permit de donner l'expression de $\sin^{-1} x$, ainsi que des séries logarithmiques.

Sa conception, héritée des classiques et de Barrow, de la construction des grandeurs géométriques par des mouvements continus (lignes engendrées par le mouvement d'un point, surfaces par celui d'une ligne, etc.), jointe à la méthode des séries infinies, le conduisit, la même année, au calcul des fluxions.

En définissant l'élément infiniment petit d'une variable x , s'annulant à la limite, et qu'il dénota pour cela o , il développa des règles de différenciation pour une fonction $f(x)$ en considérant $\lim_{o \rightarrow \text{zéro}} \frac{1}{o} [f(x+o) - f(x)]$. Il abandonna ensuite le concept d'accroissement discret infiniment petit, o , pour celui de "fluxion" d'une variable, définie comme la vitesse de changement, finie, instantanée, de l'accroissement de la grandeur - ou "fluente" - en fonction d'une variable indépendante (elle correspond à la dérivée). La notion de fluxion permet d'absorber l'accroissement infinitésimal, difficile à conceptualiser, dans une quantité finie, la limite des rapports considérés. C'est en 1691 qu'il proposera la notation \dot{x} , \ddot{x} , etc. pour les dérivées aux divers ordres (l'accroissement de la variable s'écrivant alors $o\dot{x}$, etc.).

Le calcul des fluxions permit à Newton de donner des contributions importantes en géométrie analytique. La "méthode des tangentes", ou différenciation, consiste, étant donné une relation entre des grandeurs ("fluents") qui sont des fonctions continues d'une variable indépendante, à trouver la relation entre leurs fluxions. Le problème "inverse de la méthode des tangentes" est celui de l'intégration: connaissant l'équation entre les fluxions de grandeurs, trouver la relation entre ces grandeurs elles-mêmes. Il appliqua ces méthodes à l'étude des courbes par la détermination des tangentes et des courbures, le calcul des minima et des maxima, et à l'intégration des courbes, utilisant des coordonnées cartésiennes aussi bien que polaires.

Newton exprima, dès ses premières recherches sur le calcul, les dérivées et les intégrales de fonctions comme des développements en séries infinies de puissances. Le lien de naissance des fluxions aux séries trouva son couronnement dans le développement qu'il effectua par ailleurs, dès 1691 (sous forme manuscrite, et publié en 1704, dans un appendice à l'*Opticks*), d'une fonction au voisinage d'un point en série "de Taylor" (quand ce dernier ne le fit qu'en 1715).

La plus grande partie des écrits mathématiques de Newton est restée longtemps inédite. Tandis que quelques uns furent publiés de son vivant, d'autres circulaient à l'état de manuscrit. Il rédigea vers 1669 son essai *De analysi per aequationes infinitas* et l'inclut dans un manuscrit de l'année suivante: *Methodus*

fluxionum et serierum infinitarum. Leibniz, de son côté, inventa le calcul différentiel et intégral entre 1675 et 1677 (et le publia en 1684).

Son *Enumeratio linearum tertii ordinis* (rédigé en 1667 ou 1668), ou *Traité de la nature des courbes*, ne fut publié pour la première fois qu'en 1704, après modifications, avec le *De quadratura*, comme appendice à la première édition de l'*Optique*. Il y propose une classification des courbes suivant que leurs équations sont algébriques ou transcendentes, et dénombre, dans sa classification des cubiques selon le nombre de points en lesquels elles sont coupées par une ligne droite, 72 formes possibles (6 autres seront trouvées ultérieurement, portant l'ensemble à 78). L'ouvrage comporte également la théorie des projections des courbes sur un plan à partir d'un point, montrant que la projection conserve le degré de la courbe. On y trouve encore l'étude des courbes planes d'ordre plus élevé que les coniques et les cubiques, leur application à la résolution d'équations de degrés élevés, ainsi que les propriétés des asymptotes, des points multiples et des boucles.

L'équivalence entre le calcul des fluxions et le calcul différentiel leibnizien suscita une longue et douloureuse querelle de priorité entre les deux inventeurs, Newton estimant que Leibniz avait utilisé certains de ses manuscrits pour développer son calcul symbolique. On considère généralement qu'il s'agit d'une invention indépendante par les deux savants, qui ont suivi les leçons des mêmes prédécesseurs et notamment de la méthode des maxima et des minima de Fermat.

4 - L'optique

Par ses expériences sur la lumière qu'il rapporte à l'année 1666, mais commencées en réalité dès 1664, Newton s'était proposé de trouver une explication à la tache ovale observée sur l'écran, à la sortie du prisme de section triangulaire, par un pinceau lumineux qui était initialement de section circulaire. Il l'attribua à une inégale réfrangibilité des rayons de couleurs différentes dont il supposa que la lumière blanche est composée, et entreprit, pour le vérifier, l'"expérience cruciale" de deux prismes inversés par laquelle il étudia les propriétés de chacun des rayons colorés. Les couleurs, conclut-il, "ne sont pas des qualifications de la lumière provoquées par la réflexion ou la réfraction sur les corps naturels", comme on le croyait jusqu'alors, mais "des propriétés originelles et spécifiques", différentes pour les différents rayons.

Son analyse de la dispersion et de la composition complexe de la lumière blanche l'amena à construire un télescope à réflexion : on ne pouvait, en effet, selon lui, espérer perfectionner les télescopes en combinant des lentilles, puisqu'il aurait toujours l'effet de dispersion chromatique. Cette réalisation lui valut d'être élu à la Royal Society en janvier 1671. Il y communiqua, de 1672 à 1676, les résultats de ses recherches en optique, et en premier lieu sa théorie des couleurs et de la lumière. Celle-ci fit également l'objet de son enseignement à Cambridge, de 1670 à 1672, recueilli dans les *Lectiones opticae* qui demeurèrent longtemps inédites. Si nombre de ses recherches sont restées à l'état de manuscrits, il publia cependant l'essentiel de ses résultats dans son *Optique*, parue dans une première édition en anglais en 1704, puis, peu après, dans une seconde édition augmentée en latin.

Dans ses travaux en optique, Newton se montre tributaire de l'influence de Descartes, de Robert Hooke et de Robert Boyle. Sa présentation de la théorie des

couleurs la fait voir comme une induction à partir de l'expérience, alors que nous savons maintenant, par ses carnets personnels, toute l'importance qu'a eu sur son raisonnement une conception corpusculaire de la lumière proche des idées de Boyle. Il proposa une explication de la distribution des couleurs de l'arc-en-ciel et des positions respectives des différents arcs par rapport à l'arc primaire, complétant ainsi la théorie qu'en avait donné Descartes en suivant le trajet de la lumière dans une goutte de pluie en suspension.

Il étudia en détail les propriétés des anneaux irisés (baptisés après lui "de Newton") produits par le passage de la lumière à travers une mince couche d'air située entre deux lamelles de verre. Hooke, qui avait rapporté antérieurement ces phénomènes dans sa *Micrografia*, n'en avait donné qu'une description qualitative, tout en suggérant une explication en termes de vibrations lumineuses. Newton les aborda de manière quantitative, examinant l'effet de l'épaisseur des lames, les attribuant à l'interférence des rayons diffractés (comme Hooke, il appelait la diffraction "inflexion"). Ses expériences sur les phénomènes d'interférence, dont il avait présenté de premiers résultats à la Royal Society en 1675, et qui occupent une grande partie de son *Optique*, étaient d'une telle précision que c'est sur elles que Thomas Young se basera, plus d'un siècle plus tard, pour tester sa théorie ondulatoire de la lumière.

La nécessité d'une explication théorique le préoccupait pour les phénomènes optiques tout autant que pour les lois du mouvement des corps. Comme les *Principia*, l'*Optique* commence par des définitions et des axiomes. Mais les essais d'explication y sont plus qualitatifs, tout en révélant une intuition physique aiguë. Newton proposa une analogie entre les sept notes fondamentales de la gamme musicale et les couleurs primaires (pour cette raison il en recense sept, ajoutant l'orange et l'indigo), et incorpora à sa théorie la périodicité de la lumière, remarquée à partir de ses observations sur les anneaux formés par des lames minces, associant chaque couleur à une longueur d'onde. S'il concevait des ondes associées à la lumière, tout en préférant voir en celle-ci des corpuscules de différentes vitesses, il ne se prononça pas sur la raison profonde de ce lien. Il hésita, quant à la nature de la lumière, entre une conception purement corpusculaire et une théorie vibratoire de l'éther, puis abandonna cette dernière pour une théorie des "accès de facile réflexion et transmission". Il posa dans l'*Optique* un certain nombre de questions ("Queries"), qui apparaissent comme un programme pour des recherches futures, et qui sont souvent d'une profondeur troublante.

5 - LA GRAVITATION UNIVERSELLE ET LES *PRINCIPIA*

Si Newton conçut l'idée d'une gravitation universelle et la loi de l'inverse carré des distances pour sa force dès ses "années merveilleuses", quand il s'intéressait déjà aux mouvements curvilignes et au problème de la Lune, il ne donna cependant tout leur développement à ses conceptions que dans la période décisive qui va de 1679 à 1684, sous la stimulation de Robert Hooke, de John Flamsteed, de Edmund Halley. Il entreprit en 1684 la rédaction de son *De motu corporum in gyrum*, première ébauche préparant les *Principia*, lesquels furent achevés dès 1686.

Dans sa première approche, il avait déjà corrigé la conservation cartésienne du mouvement en prenant en compte la direction, repris la formulation

du principe d'inertie, conçu en termes de forces la composition des mouvements - celui d'inertie et ceux qui l'altèrent -, formulé la loi de la force centrifuge indépendamment de Huygens et en termes de force centripète (c'est-à-dire de cause du mouvement, et non pas seulement d'effet).

Hooke avait proposé une explication du système du monde par l'attraction universelle : le problème était de l'assurer dans les phénomènes (à cet égard, une mesure exacte du méridien terrestre avait été faite par Jean Picard en 1671, qui justifiait Newton dans sa première approche), et d'en déterminer exactement la loi. Pour y parvenir, Newton dut repenser la dynamique, s'intéressant aux corps solides et fluides, aux collisions élastiques et inélastiques, clarifiant la différence entre la masse et le poids et considérant la manière par laquelle l'action, supposée continue, d'une force sur un point matériel cause un changement de sa quantité de mouvement. Il prit pour cette action la limite d'une série de forces ou impulsions considérées pour des intervalles de plus en plus courts, jusqu'à l'infini. Il put ainsi démontrer l'équivalence des lois de Képler avec une force centripète d'attraction des planètes par le Soleil, dont il formula la loi (la gravitation universelle): tous les corps matériels s'attirent mutuellement selon une force qui est inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare et proportionnelle à leurs masses respectives. .

Les *Principia, Principes mathématiques de la philosophie naturelle* donnent la présentation achevée de sa théorie du mouvement des corps et de son système du monde. Le Livre 1 contient la théorie d'une dynamique générale mathématisée, avec la définition des notions fondamentales de force, mais aussi d'espace et de temps, absolus et relatifs, et l'énoncé des trois lois fondamentales (ou "axiomes") du mouvement, à savoir la loi d'inertie, la proportionalité du changement de la quantité de mouvement à la force, et l'égalité de l'action et de la réaction. Les mathématiques mises en oeuvre consistent en une géométrie des limites de grandeurs infinitésimales, établie à partir de théorèmes sur les "premières et dernières raisons" des grandeurs relatives à la trajectoire des corps en mouvement, qui sont équivalentes au calcul des fluxions. Newton était par là en mesure de formuler les lois du mouvement d'un corps sollicité par des forces en un point et à un instant donnés, applicables aux corps terrestres aussi bien que célestes. La suite du Livre 1 porte sur ces lois, d'abord pour des situations simplifiées (points matériels soumis à des forces définies de manière géométrique, par exemple centripètes), puis pour des situations progressivement plus complexes et conformes à des cas réels, où les forces sont exercées par des corps, de dimensions finies, en mouvement relatif autour de leur centre de gravité commun. Newton y démontre, en particulier, le théorème sur l'attraction mutuelle de sphères matérielles constituées de couches homogènes concentriques, égale à celle qu'auraient leurs masses concentrées en leurs centres respectifs.

Le Livre 2 étudie le mouvement des corps solides et liquides dans les milieux résistants, pose les jalons de l'hydrodynamique, donne une théorie de la propagation des ondes et propose une manière de déterminer la vitesse du son dans un milieu élastique en fonction de la densité et de la pression. L'étude des milieux résistants l'amène, en conclusion, à réfuter la théorie cartésienne des tourbillons.

Le Livre 3, "Sur le système du monde", est une application directe du Livre 1 : le mouvement des planètes et de leurs satellites, celui des comètes, le phénomène des marées, ont une seule et même explication, qui est aussi celle de la

pesanteur : la force centripète de gravitation universelle. Newton unifiait ainsi la mécanique céleste de Képler et la mécanique terrestre de Galilée en une mécanique rationnelle dont les lois sont locales et non plus globales, instantanées et non plus moyennes. Par la considération des mouvements réels, il indiquait en même temps la nécessité de modifier aussi bien la loi de Galilée de la chute des corps que celles de Képler, puisque les attractions n'étaient plus centrales. Il fallait en effet tenir compte, pour la première, de la variation de l'accélération avec la distance au centre de la Terre et avec la latitude et, pour les secondes, du mouvement relatif de la planète et du Soleil. Il effectua une première approche du problème de l'attraction de trois corps dans le cas Soleil-Terre-Lune, pour ce qui concerne la précession de la Terre (précession des équinoxes, due à l'inclinaison de l'axe de la Terre), la forme de la Terre (sphéroïde renflé à l'équateur, applati aux pôles), la théorie des marées, les inégalités du mouvement de la Lune (et la raison pour laquelle elle présente toujours la même face à la Terre).

6 - LA PHILOSOPHIE NATURELLE

Newton concevait son travail scientifique comme faisant partie de ce qu'il appelait la "philosophie naturelle", qui n'est pas une simple reprise du thème galiléen du livre de la nature, et s'insère dans le courant néo-platonicien de Cambridge. S'il s'inspire de Descartes, par une certaine conception de la raison et du rôle des mathématiques, c'est aussitôt pour s'en démarquer, et les *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* sont en grande partie une réfutation des *Principes de philosophie*.

Son platonisme transparait dans sa conception des mathématiques exprimant la vérité et la réalité du monde qui transcende les apparences, telle qu'il l'exprime notamment dans les définitions des grandeurs "vraies et mathématiques" comme l'espace et le temps absolus, qui sont la condition de leur mathématisation.

Cependant, la doctrine explicite de Newton, telle qu'il l'a exposée dans ses "Règles du raisonnement en philosophie" du Livre 3 des *Principia*, se présente comme une méthodologie positive dont les attendus ont été longtemps considérés comme universels pour la science. "Nous ne devons admettre plus de causes aux choses naturelles qu'autant qu'elles soient vraies et suffisantes pour expliquer leurs apparences"; "Aux mêmes effets on doit, autant que possible, assigner les mêmes causes"; l'induction est une généralisation à partir des phénomènes, et l'on ne doit pas multiplier les hypothèses. Son "Hypothèses non fingo" ne signifie pas le rejet de toute hypothèse théorique, ce qui contredirait sa propre attitude scientifique, mais le refus de spéculations simplement logiques, étrangères à la considération des phénomènes.

Newton prône la méthode de l'analyse et de la synthèse, étant entendu que la méthode analytique - illustrée par l'étude différentielle des propriétés des courbes, ou par la séparation des diverses composantes du rayon de lumière blanche - doit précéder, en science, la méthode synthétique - c'est-à-dire l'essai d'explication des phénomènes, ou encore le rassemblement des propriétés analysées dans une perspective qui réincorpore l'unité.

Sur la force d'attraction universelle qui agit instantanément à distance, il soutint, contre ceux - les cartésiens - qui l'accusaient de revenir aux qualités occultes, que l'important était qu'elle fournît le moyen de faire des prédictions mathématiques, mais qu'il ne se prononçait pas sur la nature du mécanisme par

lequel cette force agissait. Ce débat devait contribuer à susciter, au dix-huitième siècle, l'apparition de nouveaux principes d'intelligibilité et une refondation de la question de la rationalité scientifique.

La philosophie naturelle comporte la question du Dieu créateur, dont Newton voyait la preuve dans l'organisation du système du monde, et qu'il évoque dans le Scholie général qui figure à la fin du Livre 3 des *Principia*: Son "Être intelligent et puissant", qui "gouverne toutes choses non comme l'âme du monde, mais comme Seigneur de tout ce qui est", est absolument parfait, éternel et infini. Sa conception de l'espace comme "*sensorium Dei*", à travers lequel se communique instantanément l'attraction universelle, est liée à l'idée de ce Dieu qui préside à la durée et à l'espace et qui les constitue, conforme à la doctrine d'Henry More. Nous ne pouvons nous faire aucune idée de la substance de cet Être, et nous ne le connaissons que par sa "Seigneurie" sur les choses et sur nous-mêmes, par sa Providence et ses causes finales.

7. THEOLOGIE ET ALCHEMIE

Croyant, Isaac Newton s'intéressa à la théologie (il s'opposait à la doctrine trinitaire) et à l'histoire biblique. Il rédigea un ouvrage sur *Les prophéties de Daniel et l'Apocalypse de St Jean*, publié en 1733, après sa mort. Ce travail d'exégèse historique illustre sa conviction que le sens des prophéties n'est pas de donner des prédictions de l'avenir, mais de témoigner de la Providence de Dieu, permettant ainsi d'interpréter en fonction d'elle les événements qui se sont accomplis.

A ses yeux, les prophètes écrivaient dans un langage mystique précis qu'il faudrait déchiffrer pour comprendre leurs textes conformément à leur pensée, au lieu d'y projeter ses fantaisies comme le font communément les interprètes. "On ne doit pas admettre pour vraies davantage de significations qu'on ne peut en prouver" : telle fut aussi la méthode qu'il prônait quant aux textes des alchimistes du passé, qui recélaient pour lui, semble-t-il, le secret de l'ancienne tradition hermétique, remontant aux philosophes pré-socratiques et aux chaldéens.

"La pensée aime les transmutations", écrit Newton dans l'*Optique*. Ses manuscrits alchimiques, dont certains ont trait à des expériences faites par lui-même, sont restés secrets jusqu'au vingtième siècle. Ses spéculations dans cet ordre ont probablement un lien avec ses pensées sur la fermentation, en chimie, et sur l'éther, en optique.

8 - LA DIFFUSION DE L'ŒUVRE ET LA POSTERITE DE NEWTON

Les mathématiques de Newton et ses lois du mouvement furent très vite adoptées et développées, transcrites dans les notations du calcul différentiel et intégral de Leibniz, ce qui conféra à la "nouvelle analyse" une plus grande force dans ses applications en géométrie comme en mécanique. Ce fut l'oeuvre, notamment, des frères Jacques et Jean Bernoulli, du marquis de l'Hôpital, de Pierre Varignon. Quant à l'inspiration des successeurs de Newton dans son propre pays, elle se tarit dans la suite du dix-huitième siècle, jusqu'au renouveau en mathématiques et en physique mathématique qui eut lieu vers 1820.

Quant à sa théorie de la gravitation universelle et son "Système du monde", elles ne furent pleinement acceptées et mises en oeuvre qu'à partir de 1730, par Alexis Clairaut, Leonhard Euler et Jean d'Alembert, qui furent ses

meilleurs continuateurs (problème des trois corps, unification de la mécanique des solides et des fluides, extension du calcul différentiel et intégral aux équations aux dérivées partielles). Les résultats de très grande précision auxquels ils parvinrent, notamment en astronomie, apparurent comme une confirmation éclatante du système newtonien, très vite soutenue et élargie par les travaux de Joseph-Louis Lagrange et de Pierre-Simon Laplace, qui développèrent la physique mathématique et la mécanique céleste dans la même voie que Newton avait ouverte. Tout le dix-neuvième siècle fut, à leur suite, marqué par le règne des conceptions de la physique newtonienne que, seules, les théories de la relativité, restreinte et générale, puis la physique quantique, devaient remettre en cause au début du vingtième siècle.

Au plan philosophique, la postérité ne retiendra longtemps de Newton que la lecture qu'en donna le dix-huitième siècle, faisant de lui le porte-drapeau de la rationalité physico-mathématique, du contrôle de la théorie par l'expérience, de l'induction à partir des phénomènes, du rejet des hypothèses métaphysiques et des questions d'essence, ainsi que de la cosmologie créationniste du Dieu horloger, tandis que le dix-neuvième y verra l'un des précurseurs du positivisme. Tout en étant l'objet de discussions critiques (notamment de la part de Leibniz, de Berkeley, de Hume), ses conceptions sur l'espace, le temps et la causalité seront placées par Kant au centre de sa philosophie et sous-tendront tous les débats sur la philosophie de la connaissance de la fin du dix-neuvième et de la première moitié du vingtième siècles.

BIBLIOGRAPHIE

Oeuvres de Newton

- (1684). *Arithmetica universalis. Liber primus* (msscrit); Verbeek, Lugduni Batavorum, 1732; ré-éd. cum commentario Johanni Castillionei, apud Marcum Michaellem, Amsterdam, 1761; éd. crit. et trad. angl., *Universal arithmetic. Book one*, in Newton (1967-1981), vol. 5, 19??, p. 538-621.

- (1779-1785). *Isaaci Newtoni Opera quae extant Omnia*, Samuel Horsley, Londres, 1779-1785, 5 vols.

- (1687). *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Londres, 1687; 2ème éd., 1713; 3ème éd., 1726, éditée avec des variantes par Alexandre Koyré et I.B. Cohen, Cambridge University Press, Cambridge, 1972. *Mathematical principles of natural philosophy*, trad. angl. (d'après la 3è éd.) par Andrew Motte (1729), rév. et éditée par Florian Cajori, University of California Press, Berkeley, 1934, ré-impr., 1962, 2 vols. Trad. fr. par Mme du Châtelet, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, Paris, 2 vols., 1756 et 1759, ré-impr., fac-simile, Blanchard, Paris, 1966; J. Gabay, Paris, 19??. Nlle trad. fr. partielle, cf. Biarnais (1982).

- (1704). *Opticks, or a Treatise of the reflexions, refractions, inflections and coulours of light*, avec deux appendices mathématiques, *Enumeratio linearum tertii ordinis*, et *Tractatus de quadratura curvarum*, Londres, 1704. Vers. augm. en lat., éd. par Samuel Clarke, *Optice*, Londres, 1706, et en angl., Londres, 1717, ré-éd., 1718; 3ème éd. angl., 1721; 4ème éd. angl., 1730. Trad. fr. sur la 2è éd. angl., par Pierre Coste, *Traité d'optique*; Amsterdam, 1720; ré-éd. révisée par Pierre Varignon, Paris, 1722; rééd.fac-simile, Gauthier-Villars, Paris, 1955; nouv. trad. par Jean-Paul Marat sur la 4ème éd.. angl., *Optique de Newton*, Paris, 1787; ré-éd., Bourgois, Paris, 1989.

- (1707). *Arithmetica universalis*, éd. par W. Whiston, Cambridge, 1707; ré-éd. amend, rev. par Newton, Londres, 1722; trad. fr. par M. Beaudeau, *Arithmétique*

universelle, Paris, 1802.

- (1711). *Analysis per quantitatum series, fluxiones ac differentias: cum enumeratione linearum tertii ordinis*, Londres, 1711.
- (1728). *The Chronology of ancient Kingdoms amended*, Londres, 1728.
- (1729). *Lectiones opticae*, Londres, 1729.
- (1733). *Observations upon the prophecies of Daniel, and the Apocalypse of St John*, Londres, 1733.
- (1740). *Methods of fluxions and of prime and ultimate ratios*, 1740. Tr. fr. par Georges Leclerc de Buffon, *La méthode des fluxions et des suites infinies*, Paris, 1740; rééd.fac-simile, Blanchard, Paris, 1966.
- (1959-1977). *The correspondence of Isaac Newton*, éd. par Alfred Rupert Hall et Mary Boas Hall, 7 vols., Cambridge University Press, 1959-1977.
- (1962). *Unpublished scientific papers of Isaac Newton*, éd. par Alfred Rupert Hall et Mary Boas Hall (1962), Cambridge University Press, Cambridge, 1962.
- (1964). *Mathematical works*, éd. par D.T. Whiteside, 2 vols., London et New York, 1964.
- (1967-1981). *The mathematical papers of sir Isaac Newton*, éd. par Derek T. Whiteside, Cambridge University Press, Cambridge, 8 vols., 1967-1981.
- (1983). *Certain philosophical questions : Newton's Trinity Notebook*, éd. par J. E. McGuire et M. Tamny, Cambridge University Press, Cambridge, 1983.
- (1984). *The optical papers of Isaac Newton*, vol. 1: *The optical letters*, éd. par A. E. Shapiro, Cambridge University Press, Cambridge, 1984.
- (1986). *The Newton handbook*, ed. by Derek Gjersten, Routledge and Kegan Paul, London, 1986.

Etudes

- BARON, Margaret E. (1969). *Origins of the infinitesimal calculus*, Oxford University Press, Oxford, 1969.
- BARTHELEMY, Georges (1992). *Newton, mécanicien du cosmos*, Vrin, Paris, 1992.
- BECHLER, R. (1982). *Contemporary newtonian research*, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.
- BECHLER, Zev (1991). *Newton's physics and the conceptual structure of the scientific revolution*, Kluwer, Dordrecht, 1991.
- BIARNAIS, Marie-Françoise, *Les Principia de Newton. Genèse et structure des chapitres fondamentaux avec traduction nouvelle*, Bourgois, Paris, 198?.
- BLAY, Michel (1983). *La conceptualisation newtonienne des phénomènes de la couleur*, Vrin, Paris, 1983.
- BOYER, Carl B. (1939). *Concepts of the calculus*, New York, 1939; ré-éd., 1959.
- CASINI, Paolo (1983). *Newton e la coscienza europea*, Bologna, 1983
- COHEN, I. B. (1971). *Introduction to Newton's Principia*, Cambridge University Press, Cambridge, 1971.
- (1980). *The newtonian revolution : with illustrations of the transformation of scientific ideas*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980.
- (1987). Newton's third law and universal gravity, *Journal for the history of ideas* 48, 1987, 571-593.
- COLLINS, John *et al.* (1713). *Commercium epistolicum D. Johannis Collin, et*

- aliorum de analysi promota*, Londres, 1712-1713; version augm., 1722.
- COWLING, I. G. (1977). *Isaac Newton and astrology*, Leeds University Press, 1977.
- CROWTHER, James Gerald (1960). *Founders of british science: John Wilkins, Robert Boyle, John Ray, Christopheer Wren, Robert Hooke, Isaac Newton*, Cresset Press, London, 1960; reimpr., Greenwood Press, Westport (Conn.), 1982.
- DOBBS, Betty Jo Teeter (1991). *The Janus faces of genius: the role of alchemy in Newton's thought*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
- DUGAS, René (1950). *La mécanique au XVIIème siècle*, Griffon, Neuchatel, 1950.
- FAUVEL, John (1988). *Let Newton be !*, Oxford University Press, Oxford, 1988.
- FEINGOLD, Mordechai (ed., 1990). *Before Newton. The time and life of Isaac Barrow*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- FLECKENSTEIN, Joachim Otto (1956). *Der Prioritätstreit zwischen Leibniz und Newton: Isaac Newton*, Birkhauser, Basel, 1956.
- GRAY, George John (1966). *A bibliography of the works of Sir Isaac Newton, together with a list of books illustrating his works*, 2nd ed. rev. enl., Dawson, London, 1966.
- GUERLAC, Henry (1981). *Newton on the continent*, Cornell University Press, 1981.
- GUICCIARDINI, N. (1989). *The development of the Newtonian calculus in Britain, 1700-1800*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- HALL, Alfred Rupert (1980). *Philosophers at war : the quarrel between Newton and Leibniz*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980.
- (1992). *Isaac Newton, adventurer in thought*, Blackwell, Oxford, 1992.
- HARRISON, J. (1978). *The library of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1978.
- HEILBRON, J.L. (1983). *Physics at the Royal Society during Newton's presidency*, University of California Press, Berkeley, 1983.
- HERIVEL, John (1965). *The background to Newton's Principia*, Oxford University Press, Oxford, 1965.
- HUNTER, M., SCHAFFER, S. (eds.) (1989). *Robert Hooke. New studies*, Boydell, Wobridge, 1989.
- KARGON, Robert Hugh (1966). *Atomism in England from Harriot to Newton*, Clarendon Press, Oxford, 1966.
- KOYRE, Alexandre (1965). *Newtonian Studies*, Cambridge (Ma), 1965. *Etudes newtoniennes*, Gallimard, Paris, 1968.
- LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm (1973). *Marginalia in Newtoni Principia Mathematica*, (1687), édition critique par Emil Alfred Fellmann, Vrin, Paris, 1973.
- MAC LAURIN (1746). *A treatise of fluxions*, London, 1742.
- MAMIANI, M. (1976). *Isaac Newton filosofo della natura: le lezione giovanili di ottica e la genesis del metodo newtoniano*, Firenze, 1976.
- MCMULLIN, E. (1978). *Newton on matter and activity*, Notre Dame University Press, Notre Dame (Ill.), 1978.
- MELI, Domenico Bertoloni (1993). *Equivalence and priority: Newton versus Leibniz. Including Leibniz's unpublished manuscripts on the Principia*, Clarendon Press, Oxford, 1993.
- METZGER, Hélène (1930). *Newton, Stahl, Boerhave et la doctrine chimique*,

Alcan, Paris, 1930; retirage, Blanchard, Paris, 1974.

PALTER, R. (ed.). (1967). *The 'Annus mirabilis' of Sir Isaac Newton, 1666-1966*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1967.

PATY, Michel (1987). Einstein et la pensée de Newton, *La Pensée*, n° 259, sept.-oct. 1977, 17-37; (1994).

ROBINET, André (éd.), *La correspondance Leibniz-Clarke*, Presses Universitaires de France, Paris, 1957.

SCHEURER, Paul et DEBROCK, G. (eds.). *Newton, scientific and philosophical legacy*, Kluwer, Dordrecht, 1988.

TURNBULL, H. W. (1945). *The mathematical discoveries of Isaac Newton*, Blackie and sons, London and Glasgow, 1945.

VERLET, Loup (1993). *La malle de Newton*, Gallimard, Paris, 1993.

WALLIS, Peter John et WALLIS, Ruth (1977). *Newton and newtoniana, 1675-1975: a bibliography*, Dawson, Folkestone, 1977.

WEBSTER, Charles (1982). *From Paracelsus to Newton: magic and the making of modern science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.

WESTFALL, Richard S. (1971). *Force in Newton's physics. The science of dynamics in the seventeenth century*, London and New York, 1971.

- (1980). *Never at rest. A biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980.

- (1993). *The life of Isaac Newton*, Cambridge University Press, 1993.

WESTFALL, Richard S., OSLER, Margaret J., FARBER, Paul Lawrence (eds.). *Religion, science and worldview : essays in honour of Richard S. Westfall*, Cambridge University Press, Cambridge, 1985.

WHITESIDE, D.T. (1964). Isaac Newton : birth of a mathematician, *Notes and records of the Royal Society of London* 19, 1964, 13-62.

- (1991). The prehistory of the *Principia* from 1664 to 1686, *Notes and Records of the Royal Society of London* ??, 1991, 11-61.

Michel PATY